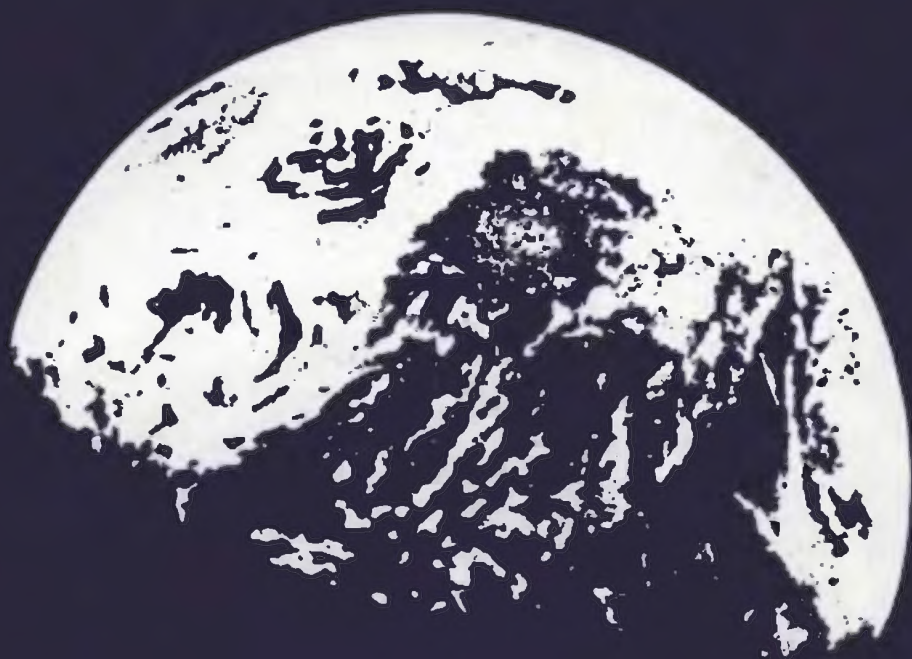


VISIT...

LANZAROTE  
*Caliente*.COM



У. КАУФМАН

# ПЛАНЕТЫ И ЛУНЫ

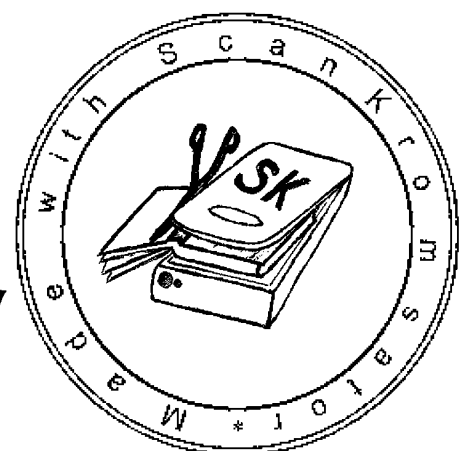
ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР» МОСКВА

William J. Kaufmann, III

---

PLANETS AND MOONS

W. H. Freeman and Company  
San Francisco, 1979



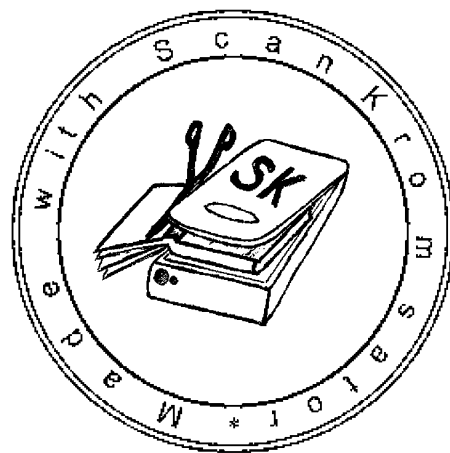
**У. Кауфман**

---

# **ПЛАНЕТЫ и ЛУНЫ**

Перевод с английского  
канд. физ.-мат. наук С. В. МАЕВОЙ  
под редакцией  
канд. физ.-мат. наук В. В. ШЕВЧЕНКО

**Москва «Мир» 1982**





ББК 22.65

К 30

УДК 17.7.5

**Кауфман У.**

**К 30** Планеты и луны: Пер. с англ./ Пер. Маевой С. В.;  
Под ред. и с послесл. В. В. Шевченко.— М.: Мир,  
1982.— 216 с., ил.

Непосредственное изучение планет Солнечной системы с помощью космических аппаратов принесло в последние десятилетия обширную научную информацию и во многом изменило наши представления о природе и свойствах планет. Об этом и рассказывает книга известного американского астрофизика профессора Уильяма Дж. Кауфмана.

Книга рассчитана на широкий круг читателей, интересующихся астрономией и современными космическими исследованиями

К  $\frac{1705050000-160}{041(01)-82}$  160—82, ч. 1

ББК 22.65  
526

*Редакция научно-популярной и научно-фантастической  
литературы*

© W. H. Freeman and Company, 1979

© Перевод на русский язык, «Мир», 1982



---

# ПРЕДИСЛОВИЕ

Первым увидеть то, чего никто прежде не видел, проникнуть туда, где никто не бывал, испытать, понять и почувствовать то, чего еще нет в кладовой человеческих знаний,— вот что стимулирует ученых, которые исследуют планеты и далекие звезды. Таковы истинные цели современных первооткрывателей. Но нынешние исследователи совершенно непохожи на своих предшественников. За годами терпеливого тщательного планирования следует кропотливое изготовление сложнейших космических аппаратов в стерильных, очищенных от пыли помещениях. Затем наступает долгое ожидание — полет через черную пустоту межпланетного пространства. И все это — труд, расходы, опасения, разочарования — полностью окупается, когда приходят в действие «глаза» и «руки» автоматического устройства и передатчик начинает посылать на Землю сообщения. Мало что может сравниться с теми ощущениями, которые испытали ученые при получении первого снимка кратеров Меркурия или при проведении первой борозды в марсианском грунте. Вот что значит жить в двадцатом столетии! Человек уже ступил на Луну и «заглянул» под облака Венеры. И все человечество участвует в этих смелых предприятиях. Тысячи лет люди внимательно смотрели на наш естественный спутник и видели привычные черты лунного лица, обращенного к Зем-

ле. Но нам довелось увидеть и скрытую сторону Луны. Мы живем во времена смелых предприятий и исследований грандиозного масштаба. Наши открытия, наверное, будут иметь столь же далеко идущие последствия, как в свое время открытия Колумба и Магеллана. Это наше наследие. И так же как открытие новых континентов оказало значительное влияние на ход развития Европы в эпоху Возрождения, так и нынешние межпланетные исследования, несомненно, сыграют определяющую роль в формировании человечества в грядущие столетия.

*Октябрь 1978 г.*

*У. Дж. Кауфман*

# 1

---

## НАЧАЛО

Должно быть, было холодно, невероятно холодно 5 млрд. лет назад — здесь, где теперь деревья, улицы и люди, — в нашем родном уголке Галактики. Но это было давно, очень давно, до рождения Солнца и возникновения планет. Простирающаяся на миллиарды и миллиарды километров во все стороны, разреженная межзвездная среда — холодный, почти абсолютный вакуум во тьме между древними звездами.

Температура тогда была ниже 50 градусов по абсолютной шкале температур. Для сравнения следует заметить, что «комнатная температура» по этой шкале соответствует приблизительно 300 градусам, а кислород воздуха, которым мы дышим, сжижается при 90 градусах выше абсолютного нуля. Но первичному межзвездному газу не грозила опасность «замерзнуть» (т.е. затвердеть) или перейти в жидкое состояние: его атомы были так далеко разбросаны друг от друга, что возможность столкнуться и соединиться была у них ничтожной.

Это был почти абсолютный вакуум: какой-нибудь десяток атомов в  $1 \text{ см}^3$ . Напомним, что в  $1 \text{ см}^3$  воздуха, которым мы дышим, содержится примерно 30 миллионов триллионов атомов. Космический путешественник — появившись таковой в те времена — вряд ли смог бы осознать, что находится в середине огромного первичного газово-пылевого облака, из которого в конце концов должна была образоваться наша Солнечная система.

Самым распространенным веществом был водород. Приблизительно на три четверти (по весу) межзвездное облако состояло из водорода и почти на одну четверть из гелия. В переводе на численность атомов это означа-

ет, что на каждый атом гелия приходилось с десяток атомов водорода.

Более тяжелые элементы были представлены в межзвездном пространстве в ничтожных количествах. Свыше 95% массы межзвездного облака состояло из водорода и гелия, на долю всех других элементов приходилось всего лишь несколько процентов. Некоторые из более тяжелых элементов существовали в виде крошечных пылинок размерами порядка 0,001 мм. Но они были чрезвычайно редки и находились далеко друг от друга. Космический путешественник смог бы обнаружить внутри межзвездного облака не более сотни таких микроскопических пылинок на целый кубический километр.

Эти далеко разбросанные пылинки состояли главным образом из кремния, магния, алюминия и железа, т.е. тех веществ, из которых образованы обыкновенные земные породы. Но, кроме того, некоторые другие элементы, такие, как кислород, углерод и азот, иногда попадались и в составе органических молекул. В межзвездном пространстве находились десятки различных органических молекул. Иначе говоря, химические «блоки» для создания живой материи существовали задолго до того, как начали формироваться Солнце и планеты.

Существуют две теории относительно образования Солнечной системы. В первичном межзвездном облаке формирование Солнечной системы не могло начаться само по себе, хотя бы просто потому, что оно было слишком разреженным. Что-то должно было вызвать сжатие облака.

Мы живем в спиральной Галактике, по внешнему виду похожей на галактику, изображенную на рис. 2. Некоторые астрономы полагают, что спиральный рукав нашей Галактики проходил через область пространства, в которой мы обитаем, приблизительно 5 млрд. лет назад. Это могло вызвать легкое сжатие межзвездного облака, что, возможно, и послужило толчком к началу звездообразования. Действительно, сегодня мы обнаруживаем много молодых звезд и светящихся газовых облаков, очерчивающих спиральные рукава удаленных галактик.

По мнению других астрономов, где-то поблизости



**Рис. 1. Туманность Ориона**

*Звезды и планеты образуются в огромных газовой-пылевых облаках. В период звездообразования облако очень холодное и темное. Но затем излучение молодых звезд может вызвать невиданно красивое свечение облака. Молодые звезды вкраплены в эту эффектную туманность в созвездии Ориона. (Ликская обсерватория.)*



**Рис. 2. Спиральная галактика**

*Если бы мы могли увидеть нашу Галактику с большого расстояния, то она выглядела бы подобно этой галактике в созвездии Большой Медведицы. Наша Галактика включает свыше 100 млрд. звезд, а ее диаметр оценивается в 100 000 световых лет. Мы находимся от ее центра на расстоянии порядка  $\frac{2}{3}$  продольного размера Галактики, между двумя спиральными рукавами. (Национальная обсерватория Китт-Пик.)*



**Рис. 3. Остаток взрыва сверхновой**

*Жизненный путь массивной звезды заканчивается ее взрывом как сверхновой. Легкие светящиеся облака в созвездии Лебедя остались от звезды, взорвавшейся 20 000 лет назад. Диаметр этой почти сферической туманности — 120 световых лет. Ударные волны, образующиеся при взрывах сверхновых, могут сжать холодные межзвездные облака где-нибудь в галактике и привести к началу звездообразования. (Обсерватория им. Хейла.)*

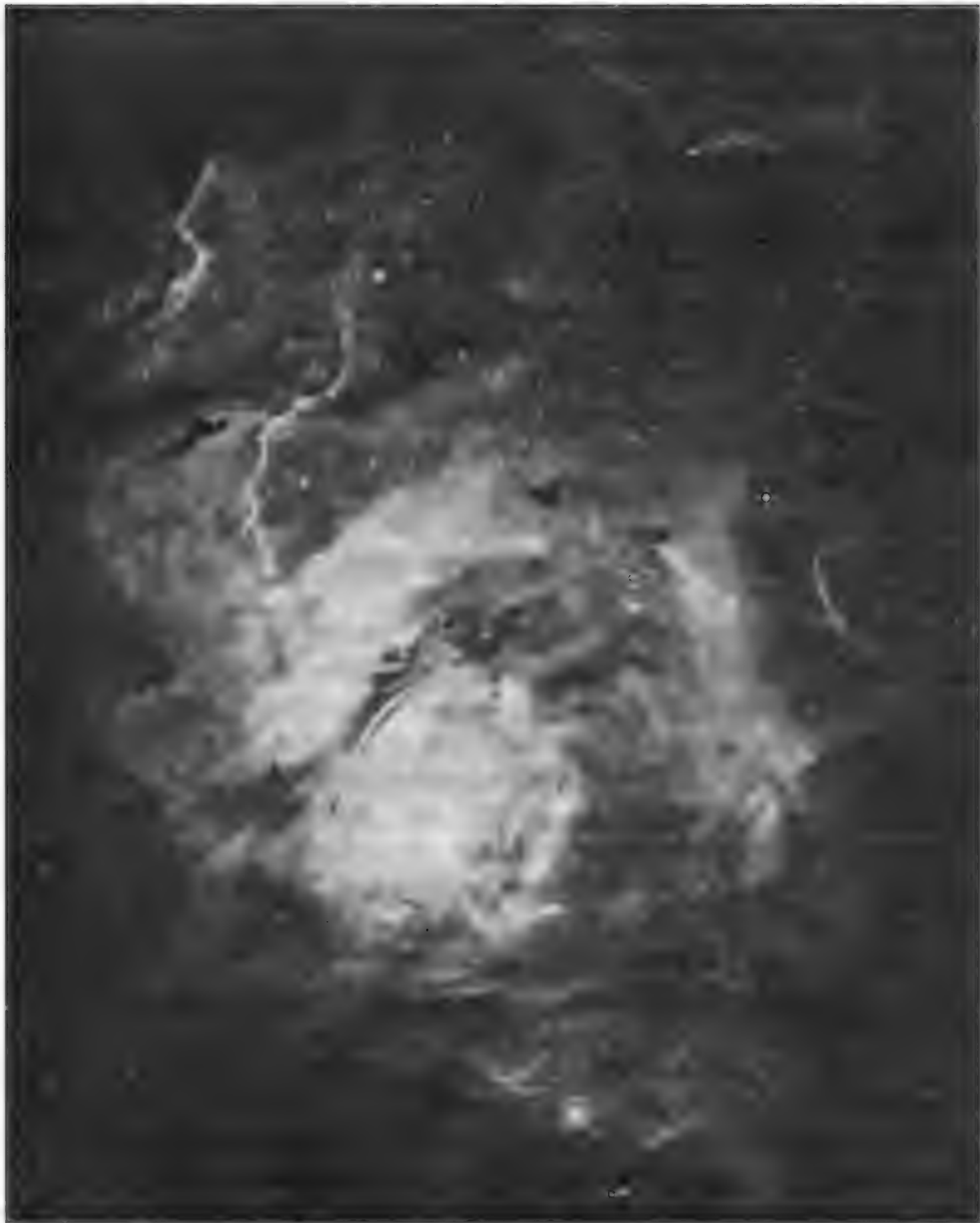


взорвалась неведомая древняя массивная сверхновая звезда. Возникшая в результате этого грандиозного разрушительного взрыва ударная волна могла оказаться достаточно сильной, чтобы сжать межзвездное облако и привести к звездообразованию. Остатки взрыва сверхновой, случившегося всего лишь 20 000 лет назад, показаны на рис. 3. Подобная туманность, образовавшаяся при взрыве сверхновой, давшей начало Солнцу, давно исчезла. Тем не менее, изучая метеориты, ученые недавно обнаружили необычное обилие ряда элементов, которые вполне могли бы образоваться при взрыве близкой сверхновой.

До сжатия первичное межзвездное облако находилось в равновесии. Сила тяготения, стремившаяся сжать облако, точно уравнивалась давлением газа в облаке. Но после сжатия (вызванного либо прохождением облака через спиральный рукав Галактики, либо взрывом сверхновой) микроскопические пылинки в облаке гораздо ближе подошли друг к другу, чем раньше, так что плотность их стала достигать, возможно, 10 000 на 1 км<sup>3</sup>, т. е. она увеличилась примерно в 100 раз. Увеличение плотности межзвездной пыли привело к тому, что свет от ближайших звезд уже не мог проходить через газопылевое облако.

Эффект затемнения, вызываемый частичками межзвездной пыли, сыграл важную роль в происхождении Солнечной системы. Поскольку свет звезд не мог больше проникать в облако и нагревать его, температура газа там приблизилась к абсолютному нулю. Давление газа и его температура всегда идут рука об руку. Поэтому, как только температура понизилась, уменьшилось и давление газа. Теперь давление газа в облаке, направленное наружу, уже не могло противостоять силе тяготения, направленной внутрь. Тяготение победило, и облако начало сжиматься.

Астрономы нередко обнаруживают холодные, темные, сжимающиеся облака межзвездных газа и пыли, которые находятся на начальных стадиях звездообразования. Как показано на рис. 4, эти так называемые глобулы легче всего увидеть, когда они вырисовываются на фоне яркой туманности. Размер типичной глобулы — несколько



**Рис. 4. Глобулы в туманности Лагуна**

*На фоне этой яркой туманности в созвездии Стрельца можно увидеть множество крошечных глобул. Эти темные холодные газово-пылевые облака сжимаются под действием тяготения. Через каких-нибудь несколько сотен миллионов лет многие из них могут стать местом рождения новых звезд. (Национальная обсерватория Китт-Пик.)*

световых лет, а ее вещества достаточно для образования десятка систем, подобных Солнечной системе.

После того как глобула сжалась под действием тяготения, любая случайно возникшая турбулентность в облаке могла привести к образованию вихрей. Вихри вызвали распад облака на более мелкие части. Одной из таких медленно вращающихся частей облака и было суждено стать нашей Солнечной системой.

Так как эта часть облака продолжала сжиматься, ее вращение ускорялось, в результате она приобрела отчетливо выраженную дискообразную форму. Это была *первичная солнечная туманность*. При поперечнике 10 млрд. км (приблизительно размер орбиты Нептуна) туманность имела толщину около 200 млн. км (приблизительно расстояние от Земли до Солнца), и вещества в ней было в 2 раза больше, чем в настоящее время в Солнечной системе.

На ранних этапах эволюции первичной солнечной туманности тяготение продолжало преобладать, так как все больше вещества сжималось к центру диска. Это привело к тому, что центральные области солнечной туманности оказались значительно горячее, чем внешние. Частицы межзвездной пыли во внутренних областях первичной туманности вскоре полностью улетучились. Огромное различие в температурах в центре и на краях солнечной туманности в конечном счете существенно повлияло на строение Солнечной системы: внутренние планеты ее должны были сильно отличаться от внешних.

Через 50 млн. лет после «рокового» сжатия межзвездного облака формирование солнечной туманности закончилось. Вещество продолжало устремляться к центру туманности — так образовалось протосолнце. Все это время первичное магнитное поле Солнца связывало протосолнце с газами остальной части солнечной туманности. Не будь такой связи, Солнце вращалось бы с бешеной скоростью — точно так фигурист может вращаться с неимоверной скоростью, прижав к себе руки. Но Солнце вращается весьма медленно, делая только один оборот за четыре недели. Движение магнитного поля протосолнца сквозь газ солнечной туманности должно было приводить к сильному торможению протосолнца. По-

этому солнечная туманность вращалась более или менее равномерно в целом. Эта стадия, в течение которой вращение передавалось от внутренних частей солнечной туманности к внешним, длилась всего несколько тысяч лет. После этого наступило время «рождения» планет.

Вещество первичной солнечной туманности можно было разделить по точкам плавления или кипения на три обширных класса. Во-первых, это вещества, обычно образующие земные *породы*. К ним относятся силикаты, окислы металлов, кремний, магний, алюминий и железо в различных химических соединениях. Все эти вещества имеют очень высокие точки плавления или кипения, обычно порядка тысяч градусов.

Во-вторых, там присутствовали вещества, обычно существующие в виде *жидкостей* и *льдов*. Сюда относятся главным образом химические соединения углерода, азота, водорода и кислорода. Возможно, наиболее знакомыми нам среди этих веществ были вода, углекислый газ, метан и аммиак. Точки плавления или кипения льдов и жидкостей этих веществ лежат в интервале 100–300 градусов по абсолютной шкале температур.

И наконец, в солнечной туманности были вещества, которые почти всегда являются *газами*: водород, гелий, неон и аргон в чистом виде. Эти вещества при всех условиях, за исключением крайне низких температур вблизи абсолютного нуля, находятся в газообразном состоянии.

Температурный режим играл решающую роль в определении природы планет, которые сформировались на различных расстояниях от Солнца. Поскольку в процессе образования протосолнца огромное количество вещества устремлялось к центру первичной солнечной туманности, температура в ее центральной части была весьма высока. Температура в несколько тысяч градусов была там нормой, и поэтому вещество полностью испарялось. Однако во внешних частях туманности температура никогда значительно не превышала 100 градусов по абсолютной шкале температур. Частицы межзвездной пыли в этих областях, вероятно, были покрыты слоем замерзших воды, углекислого газа, а также метана и аммиака. На эти покрытые льдом удаленные

частицы гравитационное сжатие Солнца практически не оказывало влияния.

После того как образовалось протосолнце, температура во внутренних областях солнечной туманности стала падать и, когда температура газа стала достаточно низкой, начался процесс конденсации вещества солнечной туманности. Разумеется, первым должно было перейти в твердое состояние вещество, формирующее породы. Но поскольку температура вблизи протосолнца все же оставалась достаточно высокой, частицы вблизи протосолнца главным образом включали в себя железо, силикаты и окислы металлов.

Несколько дальше от протосолнца температура была еще ниже, и там частицы пыли могли быть покрыты слоем льда. Чем дальше от протосолнца находились частицы пыли, тем толще был слой покрывающего их льда. Но все эти пылинки – и близкие, и далекие – по-прежнему находились в огромном облаке водорода и гелия, двух основных газов, которые вместе составляли более 95% вещества солнечной туманности. Однако на этой стадии впервые проявились существенные различия в составе частиц, находящихся на разных расстояниях от протосолнца.

Частицы пыли в солнечной туманности, по-видимому, были довольно рыхлыми, и, как большие снежинки, они легко слипались при столкновениях. Неоднократные столкновения на протяжении многих лет привели к образованию «комьев» пыли размерами порядка нескольких миллиметров или даже сантиметров в диаметре. Постепенно под действием тяготения эти комья оседали к центральной плоскости солнечной туманности.

Процесс оседания продолжался в течение нескольких сотен тысяч лет. К концу этой стадии большая часть твердого вещества в Солнечной системе распределилась в гигантский плоский слой с протосолнцем в центре. Но этот протяженный и весьма тонкий слой был неустойчивым вследствие действия сил тяготения. Те участки слоя, где случайно плотность комочков пыли оказалась несколько выше, притягивали все новые и новые комья из тех участков слоя, где их вначале случайно оказалось меньше. Таким образом комки межзвездной

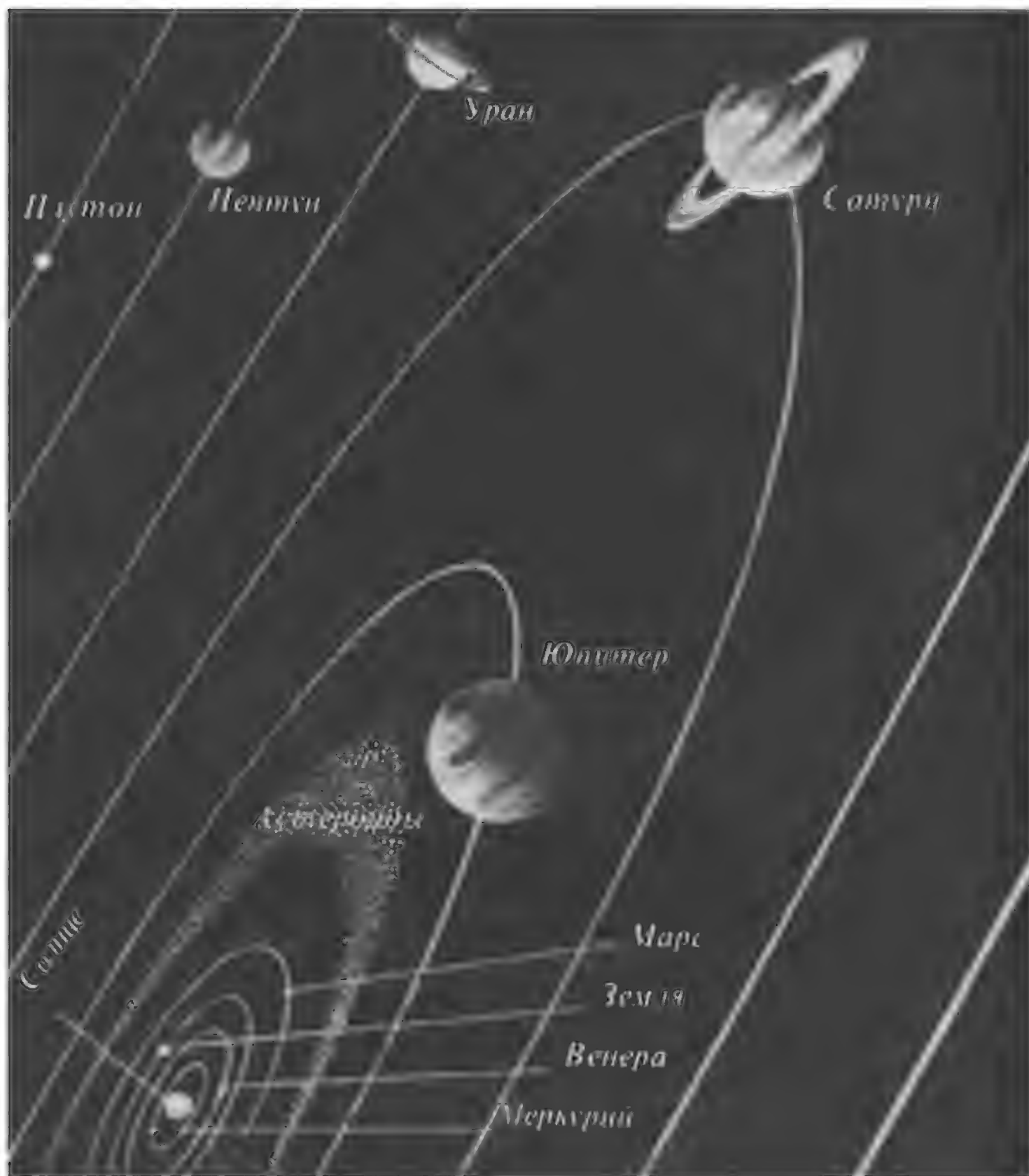
пыли постепенно слипались в астероидоподобные объекты размерами в километры — так называемые *планетезимали*.

Важно ясно представлять себе, что планетезимали в различных областях солнечной туманности сильно отличались по своему химическому составу. Вблизи протосолнца они почти целиком состояли из каменистого вещества. Это произошло потому, что первоначальные пылинки (а позже комья) содержали только то вещество, которое могло оставаться твердым во внутренних прогретых областях первичной Солнечной системы. Дальше от протосолнца, где температура была ниже, в них наряду с каменистым веществом входил лед. А планетезимали в далеких холодных областях включали также замерзшие метан и аммиак.

Постепенно в течение нескольких следующих миллионов лет планетезимали объединялись и уплотнялись под действием гравитационного притяжения в значительно более крупные объекты — *протопланеты*. Во внутренних областях первичной Солнечной системы образовалось четыре протопланеты. И еще четыре протопланеты сформировались гораздо дальше от протосолнца. Как мы увидим в гл. 8, есть основание полагать, что Плутон, считающийся в настоящее время самой малой планетой в Солнечной системе, первоначально был спутником Нептуна.

Четырем внутренним протопланетам было суждено стать Меркурием, Венерой, Землей и Марсом. Радиоактивные процессы в недрах протопланет скоро привели к нагреванию, а в конечном счете к расплавлению вещества в их недрах. И снова вступила в действие сила тяготения, в результате чего более тяжелое вещество (в основном железо) опустилось к центрам расплавленных протопланет, а более легкое вещество поднялось вверх, к их поверхностям. Таким образом планеты стали «химически дифференцированными» телами с плотными железными ядрами, окруженными слоями менее плотных пород.

В далекие времена, когда четыре внутренние планеты находились по существу в расплавленном состоянии, газы легко улетучивались из расплавленных пород. Мер-



**Рис. 5. Солнечная система**

*На этой схеме орбиты планет Солнечной системы показаны в масштабе. Четыре внутренние планеты буквально теснятся вблизи Солнца, тогда как орбиты внешних планет удалены друг от друга и от Солнца на огромные расстояния.*

курий, самая малая после Плутона планета Солнечной системы, был не в состоянии удержать какие-либо газы. Под воздействием палящего жара молодого Солнца и вследствие малого ускорения силы тяжести на поверхности Меркурия все газы скоро «ускользнули» из его первичной атмосферы.

На Марсе, который по своим размерам лишь незначительно превышает Меркурий, ускорение силы тяжести тоже очень мало. Поэтому Марс также потерял большую часть своей первичной атмосферы. Остался только очень тонкий слой углекислого газа.

Только на Венере и на Земле, наиболее массивных из внутренних планет, ускорения силы тяжести достаточно велики, чтобы удержать атмосферу. Но их атмосферы очень скудны — всего лишь слой газов, прилегающих к поверхности планеты. Большая часть атмосферных газов, окружающих Венеру и Землю, сосредоточена на высотах до 10 км над поверхностями планет. Совершенно иная картина наблюдается на внешних планетах, атмосферы которых простираются на десятки тысяч километров. Основная причина такого различия непосредственно связана с химическим составом исходных частиц пыли, из которых образовались планеты. В прогретых внутренних частях солнечной туманности эти частицы были либо слегка покрыты льдом, либо лишены его полностью. Поэтому четыре внутренние планеты, как и частицы пыли, из которых они сформировались, почти целиком состояли из каменистого вещества. И при нашем первом, всего лишь поверхностном описании строения внутренних планет вряд ли стоит упоминать о ничтожных количествах газа и жидкости, оставшихся вблизи некоторых из них.

Различия химического состава первичных частиц пыли сыграли также определяющую роль в формировании структуры недр четырех внутренних планет. Все они имеют железные ядра, окруженные мантиями из менее плотных пород. Но среди внутренних планет Меркурий явно обладает самым большим по размерам железным ядром. Оно простирается от центра к поверхности на три четверти радиуса планеты. На железное ядро приходится 80% массы Меркурия. У Венеры и Земли ра-



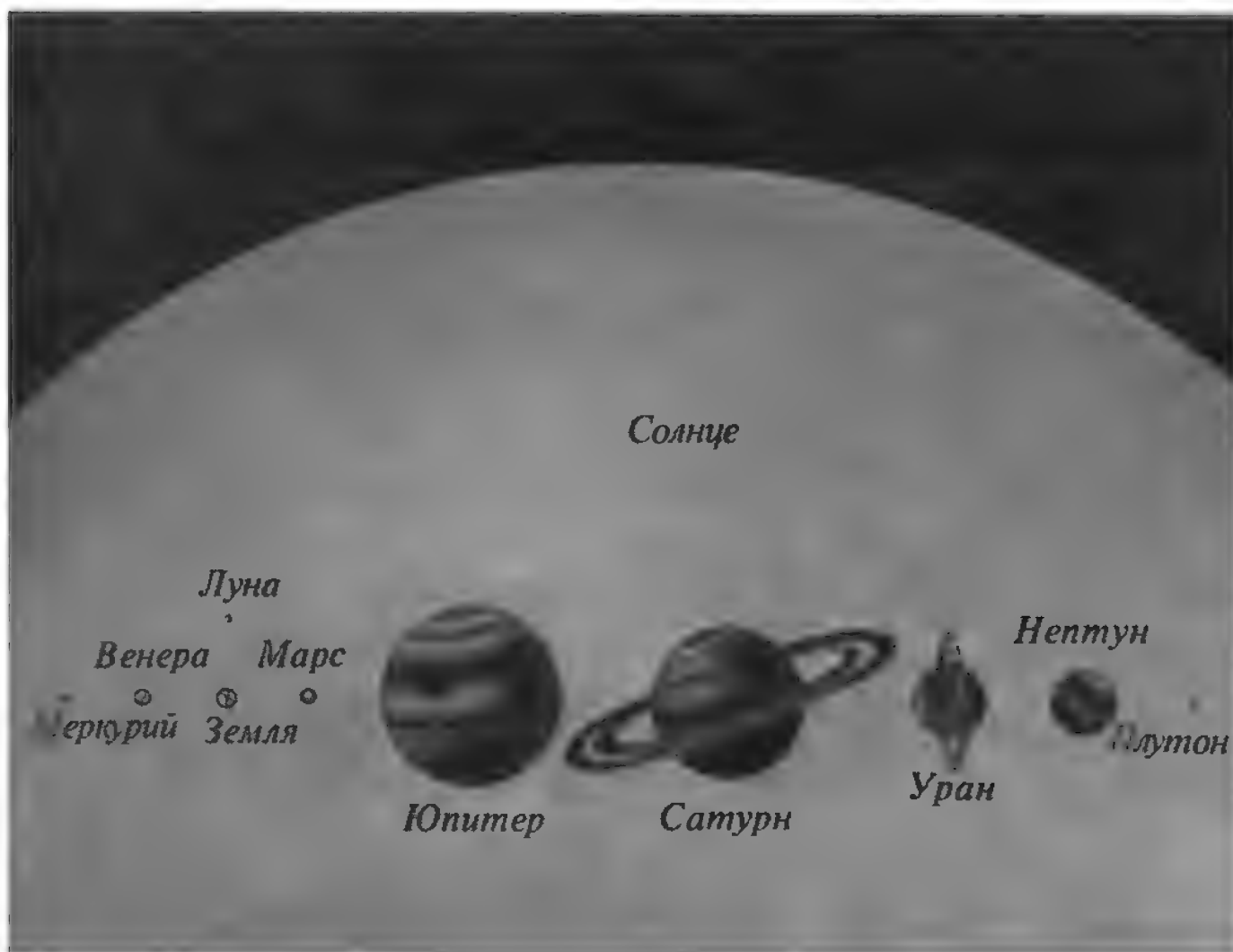
диус железного ядра не превышает половины радиуса планеты. А железное ядро Марса и того меньше.

Железо, никель и окислы некоторых других металлов были первыми веществами, сконденсировавшимися во внутренних горячих областях первичной солнечной туманности, ибо эти вещества имеют самые высокие температуры конденсации. Силикаты и другие породообразующие минералы конденсируются при несколько меньших температурах. Поэтому частицы пыли, которые конденсировались вблизи протосолнца, содержали большее количество железа, чем более удаленные частицы. Таким образом, планета, образовавшаяся ближе всех к Солнцу, более богата железом, чем удаленные планеты.

Образование внешних планет-гигантов должно было начаться приблизительно в то же время и проходить аналогичным образом. Однако планетезимали в далеких холодных областях солнечной туманности содержали значительное количество льдов, и у планет, формировавшихся там, должны были образоваться толстые атмосферы из метана, аммиака и других газов.

При формировании Юпитера и Сатурна объединение и слипание планетезималей было столь эффективным, что сильные гравитационные поля этих огромных протопланет легко притягивали водород и гелий. Помимо того что прото-Юпитер и прото-Сатурн удерживали эти газы, они, обращаясь вокруг молодого Солнца, выметали огромное количество водорода и гелия протопланетного облака. В самом деле, создание Юпитера и Сатурна должно было имитировать образование самой солнечной системы. Каждая из этих планет-гигантов окружена значительной свитой спутников, образуя систему, подобную миниатюрной Солнечной системе.

В случае Урана и Нептуна объединение и уплотнение планетезималей происходило несколько иначе. Эти протопланеты, хотя и очень большие по сравнению с внутренними планетами, никогда не достигали колоссальных размеров Юпитера и Сатурна. Уран и Нептун могли захватить из солнечной туманности только небольшое количество легких газов: водорода и гелия. Поэтому толстые атмосферы Урана и Нептуна содержат меньше водорода и гелия, чем атмосферы Юпитера



**Рис. 6. Планеты**

*На рисунке в масштабе показаны все планеты Солнечной системы и часть Солнца. Четыре внутренние планеты очень малы и имеют твердые поверхности. Следующие четыре планеты – гиганты; они состоят почти целиком из газообразного и жидкого вещества.*

и Сатурна. Но, подобно своим гигантским соседям, Уран и Нептун окружены спутниками. Возможно, что Плутон, который сейчас является планетой, первоначально был спутником Нептуна.

Пока планеты образовывались из вещества солнечной туманности, протосолнце продолжало изменяться. Под давлением триллионов триллионов тонн газа, направленным внутрь, в центре сжимающегося протосолнца становилось все горячее. Наконец, 4,5 млрд. лет назад температура в центре Солнца достигла такой величины, что там могли начаться процессы термоядерного синтеза – превращения водорода в гелий при температуре в мил-



**Рис. 7. Скопление молодых звезд**

*Это скопление звезд и газа (объект NGC 2264) – звездные «ясли» в созвездии Единорога. В центрах многих звезд скопления только теперь начинаются процессы термоядерного синтеза. Многие из этих звезд проходят стадию Т Тельца. Такие звезды порождают мощный звездный ветер, разгоняющий туманность в их окрестностях. (Обсерватория им. Хейла.)*

лионы градусов. Начало таких процессов служит сигналом о рождении звезды. Так родилось наше Солнце.

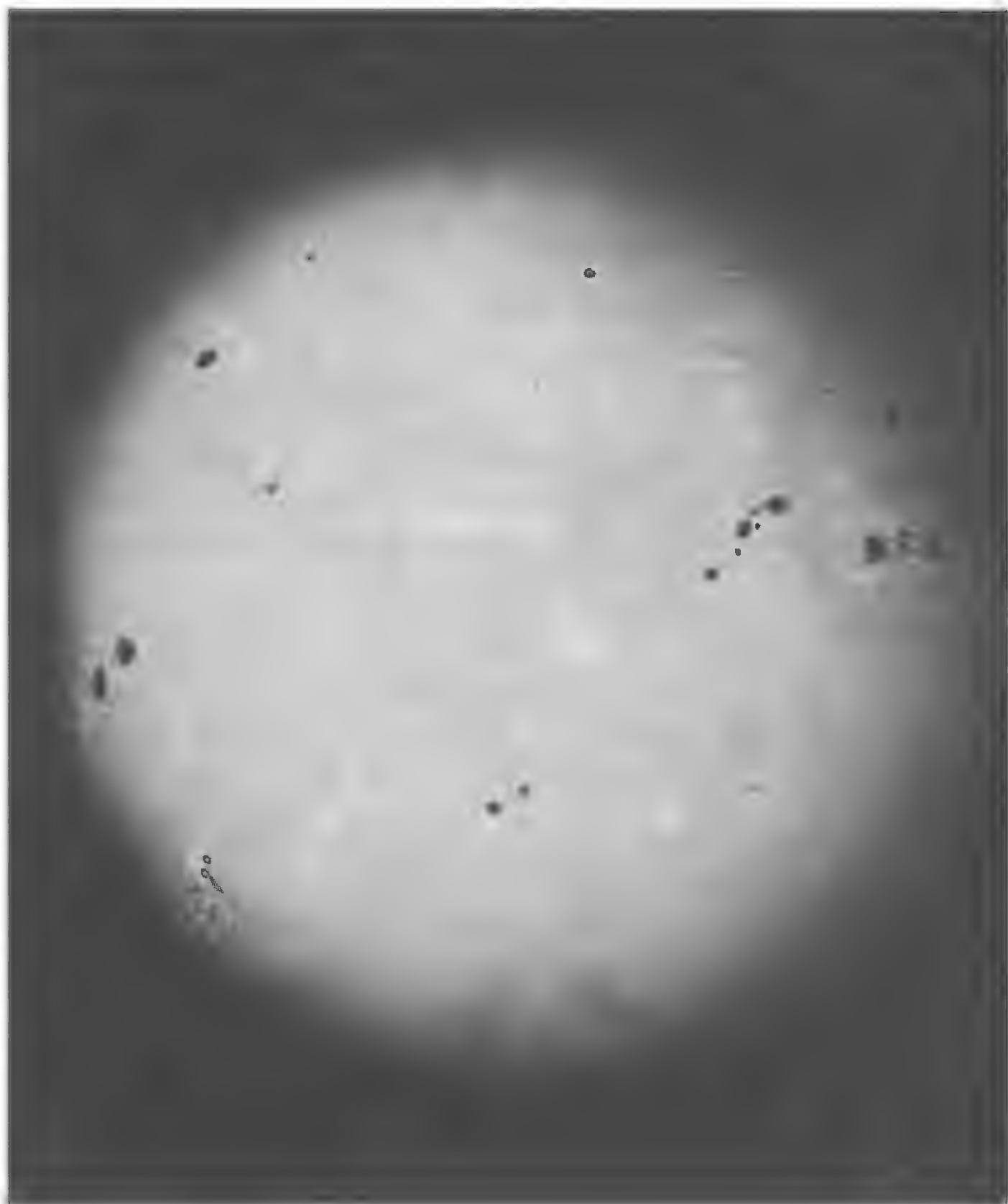
Астрономы часто обнаруживают на небе молодые и «только что родившиеся» звезды. Целое скопление очень молодых звезд показано на рис. 7. В ядрах многих из них сейчас только начинаются процессы термоядерного синтеза.

Тщательно наблюдая очень молодые звезды, астрономы в настоящее время установили, что в конце процесса рождения звезды часто выбрасывают значительное количество вещества. Как только вновь образовавшаяся звезда «приспосабливается» к началу термоядерных реакций в ядре, с ее поверхности срывается большое количество газа. Этот выброс вещества называется *ветром Т Тельца*.

Естественно полагать, что звездные ветры испускают все звезды. Эти «ветры» в действительности представляют собой непрерывное испускание частиц — в основном протонов и электронов — с поверхности звезды. Наше Солнце также непрерывно выбрасывает частицы, образующие *солнечный ветер*. Солнечный ветер был обнаружен в начале 1960-х годов первыми межпланетными космическими аппаратами, и это явилось одним из самых важных успехов программы космических исследований. На орбите Земли средняя скорость солнечного ветра составляет 400 км/с. Средняя плотность солнечного ветра в окрестностях Земли равна 10 частицам на 1 см<sup>3</sup>. Но иногда наблюдаются сильные «порывы» солнечного ветра. Космические аппараты, совершающие путешествия к другим планетам Солнечной системы, регистрировали плотности приблизительно до 100 частиц на 1 см<sup>3</sup> и скорости, близкие к 1000 км/с.

Звездные ветры, испускаемые звездами «среднего возраста», — это легкий ветерок по сравнению с ветром Т Тельца. Ветер Т Тельца — настоящий ураган, оказывающий существенное давление на все, что встречается на его пути.

«Ветер Т Тельца», сопровождавший рождение Солнца, выдул из первичной солнечной туманности весь избыток водорода и гелия далеко в межзвездное пространство. Первичная солнечная туманность содержала до-



**Рис. 8. Наша звезда**

*Солнце – самый массивный объект в Солнечной системе. Свыше 99,8% всего вещества, содержащегося в Солнечной системе, заключено в Солнце. На все остальное приходится менее 0,2%. На этой исключительной фотографии Солнца видно множество солнечных пятен. (Обсерватория им. Хейла.)*

статочного вещества (в основном водорода и гелия), из которого могло бы сформироваться два Солнца. Но за миллионы лет, когда «ветер Т Тельца» бушевал в молодой Солнечной системе, почти половина первичного газа улетучилась в глубины космического пространства.

«Ветер Т Тельца» «очистил» Солнечную систему. Он был так силен, что внутренние планеты лишились большей части своих первичных атмосфер. Только твердые тела — планеты, спутники, астероиды и метеориты — могли устоять против такого ветра и остаться на орбитах около Солнца.

Хотя планеты и продолжали развиваться в течение последующих нескольких миллиардов лет, создание Солнечной системы завершилось. После того как Солнце прошло стадию Т Тельца, с планетами не происходило действительно радикальных изменений, за исключением таких процессов, как кратерообразование на внутренних планетах. «Ветер Т Тельца» закончил процесс образования планет.

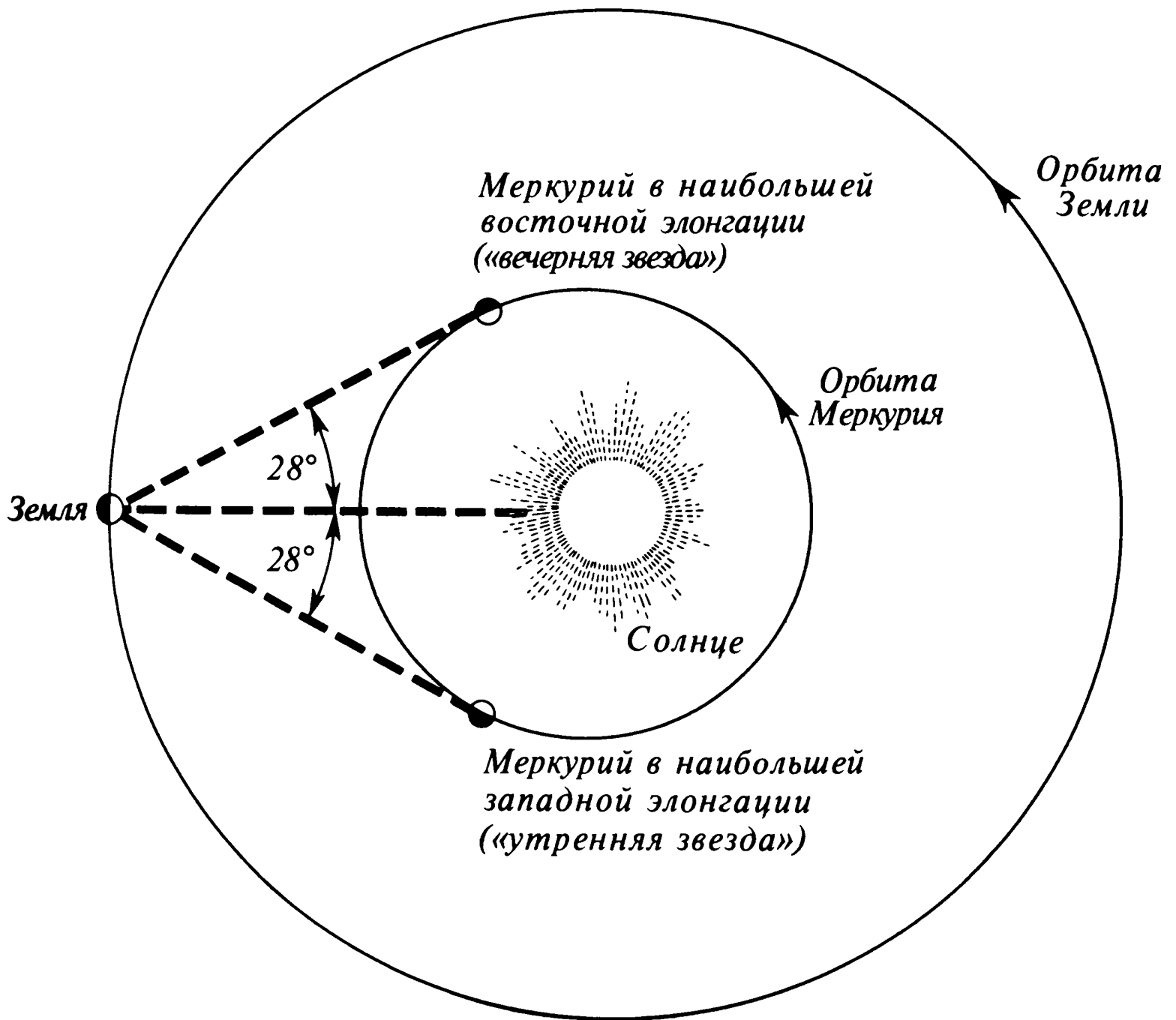
После прекращения «ветра Т Тельца» большая часть вещества, оставшегося в Солнечной системе, сосредоточилась в Солнце. Ту же самую картину мы наблюдаем и в настоящее время; свыше 99,8% массы Солнечной системы заключено в Солнце, а на все планеты вместе остается менее 0,2%. Общая масса комет, астероидов, спутников и метеоритов составляет менее 0,001% массы Солнечной системы.

Если бы космический путешественник, странствующий по Галактике, оказался вдруг в окрестностях Солнечной системы, то с первого взгляда он мог бы заметить только Солнце — слабую карликовую звезду. При тщательном рассмотрении с близкого расстояния, меньше одного светового года, путешественник, возможно, увидел бы Юпитер, а затем Сатурн. Но лишь с большим трудом или с очень близкого расстояния он мог бы заметить какую-нибудь другую планету. Планеты представляют собой буквально микроскопические соринки в бескрайнем космическом вакууме, окружающем Солнце.

## ОПАЛЕННЫЙ СОЛНЦЕМ МЕРКУРИЙ

Меркурий – планета, ближайшая к Солнцу. Среднее расстояние от Меркурия до Солнца всего лишь 58 млн. км. Орбита Земли примерно в 3 раза больше. Это означает, что угловой диаметр Солнца, который при наблюдении с Земли кажется равным  $0,5^\circ$ , при наблюдении с Меркурия составил бы около  $1,5^\circ$ . Вследствие такого трехкратного увеличения видимого диаметра площадь поверхности Солнца, наблюдаемого на небе Меркурия, оказывается в 9 раз больше, чем площадь, которую оно занимает на небе Земли. Следовательно, на покрытую кратерами поверхность Меркурия падает в 9 раз больше солнечного света, чем на поверхность Земли. А в отличие от нашей планеты Меркурий не имеет атмосферы, которая защищала бы его от палящих солнечных лучей. Под обжигающим полуденным Солнцем свинец и олово на Меркурии должны выплавляться из пород и собираться в сверкающие лужи или растекаться по планете тонкими серебристыми потоками. Это одно из самых жарких мест в Солнечной системе – безмолвный, безвоздушный ад, где всецело господствует гигантское Солнце, висящее на черном как смоль небе.

Близость Меркурия к Солнцу приводит к тому, что эту планету исключительно трудно наблюдать. Действительно, многим астрономам-профессионалам не удалось даже мельком увидеть эту крошечную планету. Хотя Меркурий часто бывает очень ярким (иногда он не уступает по яркости Сириусу – самой яркой звезде на на-



**Рис. 9. Орбита Меркурия**

Меркурий, среднее расстояние которого от Солнца составляет только 58 млн. км, совершает один оборот по орбите вокруг Солнца всего лишь за 88 суток. С Земли Меркурий можно видеть только вблизи наибольших западной или восточной элонгаций. В наибольшей западной элонгации (когда планета находится на небе наиболее далеко к западу от Солнца) Меркурий восходит приблизительно за 1,5 ч до восхода Солнца. В наибольшей восточной элонгации (когда планета находится на небе далее всего к востоку от Солнца) Меркурий заходит приблизительно на 1,5 ч позже Солнца.



шем небе), его блеск теряется в голубых и ярко-розовых красках рассвета или в вечерних сумерках.

Как показано на рис. 9, Меркурий расположен на небе не далее  $28^\circ$  от Солнца. Это означает, что в лучшем случае Меркурий восходит (на небе Земли) на востоке за 1,5 ч до восхода Солнца или заходит на западе через 1,5 ч после его захода. Поэтому планета всегда прячется в сумеречном освещении.

Из рис. 9 также видно, что орбита Меркурия не круговая. Хотя на первый взгляд она выглядит примерно круговой, в действительности это наиболее вытянутая эллиптическая орбита по сравнению с орбитами других планет Солнечной системы; исключением является лишь орбита Плутона. В перигелии расстояние от Меркурия до Солнца составляет всего 46 млн. км, а в афелии оно равно примерно 70 млн. км. Подобное различие расстояний существенно, поскольку Меркурий делает полный оборот по орбите всего за 88 суток.

Меркурий — самая малая (после Плутона) планета в Солнечной системе. Диаметр Меркурия равен всего 4880 км, так что эта планета лишь немногим больше Луны. А два спутника Юпитера, один — Сатурна и один — Нептуна, даже несколько превосходят Меркурий по размерам.

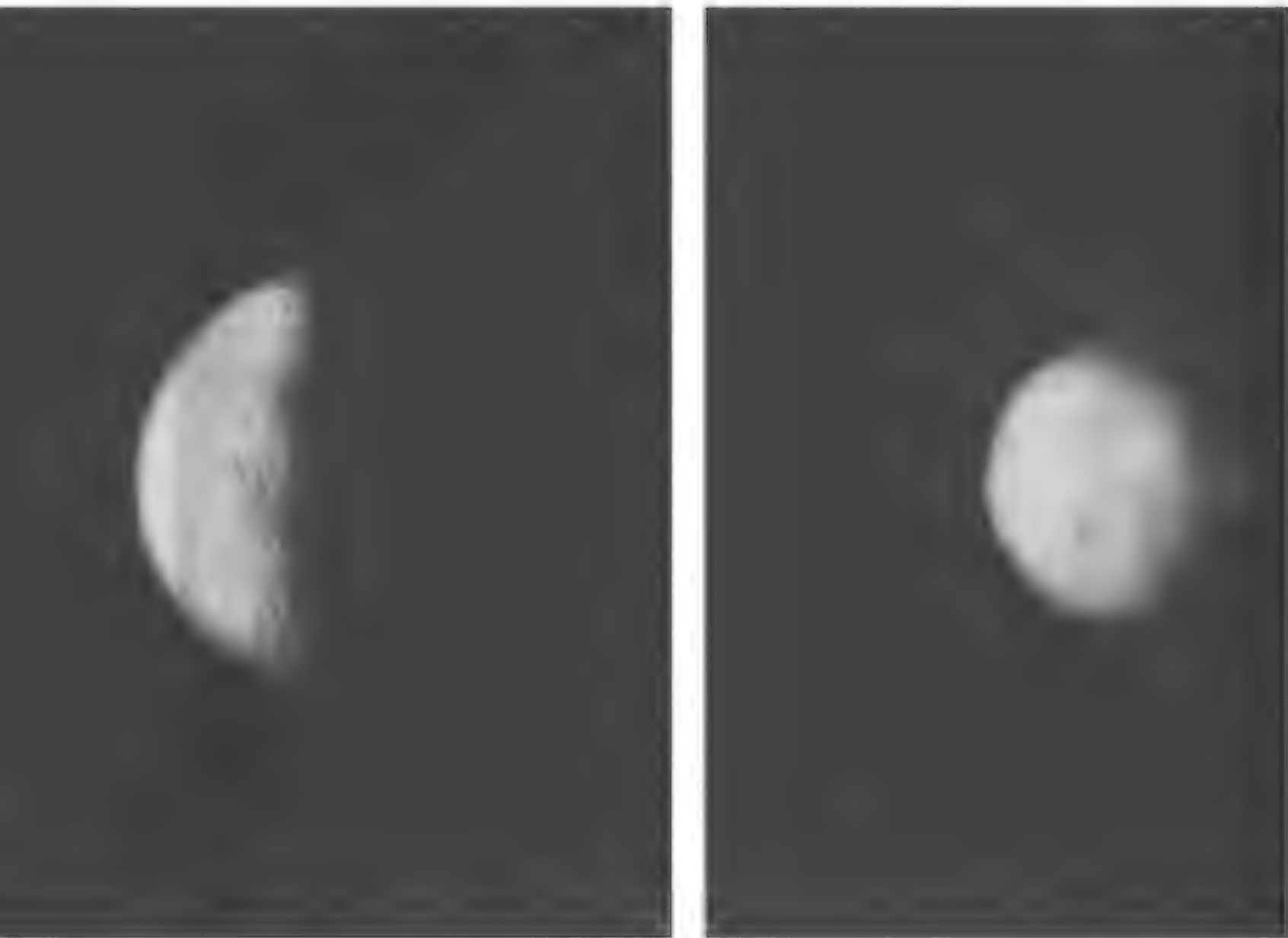
Небольшая величина Меркурия и его постоянная близость к Солнцу делают эту планету очень трудным объектом для изучения с Земли. Плачевное состояние дел в этом вопросе отчетливо демонстрирует рис. 11. На нем приведены два снимка — это одни из лучших фотографий Меркурия, полученных когда-либо астрономами с Земли; но на них можно различить только несколько очень смутных пятен.

Внимательно наблюдая эти туманные пятна на поверхности планеты, астрономы XIX в. пытались определить период вращения Меркурия. В 1889 г. после семи лет наблюдений планеты Джованни Скиапарелли (который составил первые пространственные карты Марса) объявил, что «Меркурий совершает только одно вращение вокруг оси за время полного обращения вокруг Солнца». Другими словами, как и Луна, которая всегда обращена к Земле одной и той же стороной, Мерку-



**Рис. 10. Прохождение Меркурия**

*Изредка (примерно 10 раз в столетие) Меркурий проходит непосредственно между Землей и Солнцем. В таких случаях на фоне солнечной поверхности бывает видно крошечное пятнышко (на рисунке показано стрелкой). Здесь изображено прохождение, наблюдавшееся 14 ноября 1907 г. Из-за значительного наклона орбиты Меркурия (она наклонена на  $7^\circ$  относительно орбиты Земли) планета обычно проходит несколько севернее или южнее Солнца, и поэтому прохождения не видно. (Йеркская обсерватория.)*



**Рис. 11. Два вида Меркурия**

*Эти две фотографии, сделанные в конце 60-х годов,—наилучшие среди полученных с Земли изображений Меркурия. На них можно заметить всего лишь несколько тусклых темноватых пятен. Из-за тусклости этих деталей было очень трудно определить период вращения Меркурия вокруг оси. Теперь известно, что день на Меркурии (58,65 земных суток) точно равен двум третьим меркурианского года (87,97 земных суток). (Университетская обсерватория штата Нью-Мексико.)*

рий будто бы обращен одной и той же стороной к Солнцу. Это означало бы, что на одной стороне Меркурия царит вечный знойный день, а другая его сторона навсегда погружена в холодную ночь.

Скиапарелли ошибся. Но Меркурий так трудно наблюдать, что никто даже не заподозрил ошибки до сере-

дины 60-х годов нашего столетия. Синхронность вращения Меркурия, столь уверенно провозглашенная Скиапарелли, слепо принималась за истину; связанные с этим мифы и фантазии изобиловали в популярной и научной литературе.

В 1962 г. группа астрономов Мичиганского университета тщательно наблюдала Меркурий при помощи радиотелескопа. Измеряя радиоволновое излучение планеты, они надеялись определить температуру ее поверхности. Однако к своему большому удивлению астрономы обнаружили также радиоизлучение от темной ночной стороны Меркурия. Они же, конечно, ожидали интенсивного радиоизлучения только от горячих, освещенных Солнцем областей планеты. Но если исходить из того, что темная сторона никогда не была обращена к Солнцу, температура пород там должна быть очень близка к абсолютному нулю, а в таком случае ни о каком излучении не могло быть даже речи.

Объяснить результаты этих наблюдений можно, только предположив, что Меркурий не вращается синхронно и поэтому одна сторона его не погружена в вечную ночь. Но представления Скиапарелли так прочно укоренились, что изыскивались другие объяснения. Астрономы начали говорить об атмосфере вокруг Меркурия, которая могла бы обеспечить перенос тепла от дневного полушария планеты к ночному. Все это было полнейшим вымыслом.

В 1965 г. Ральф Дайс и Гордон Петтинджилл произвели радиолокацию Меркурия, используя гигантский радиотелескоп обсерватории в Аресибо (Пуэрто-Рико). Проанализировав отраженные сигналы, они пришли к выводу, что Меркурий не обращен одной и той же стороной к Солнцу. Радиолокационные наблюдения ясно показали, что Меркурий вращается вокруг своей оси с периодом 59 суток.

Вслед за этим важным открытием выдающийся итальянский астроном Джузеппе Коломбо заметил, что, как оказывается, период вращения Меркурия вокруг оси (59 суток) составляет две трети от периода обращения Меркурия вокруг Солнца (88 суток). Другими словами, вместо зависимости по Скиапарелли между названными



**Рис. 12. Полет «Маринера-10»**

«Маринер-10» был запущен с Земли 4 ноября 1973 г. 5 февраля 1974 г., когда космический аппарат пролетал мимо Венеры, под воздействием ее гравитационного поля он перешел на орбиту, ведущую к Меркурию. Первая встреча с Меркурием произошла 29 марта 1974 г., после чего «Маринер-10» стал двигаться по орбите вокруг Солнца, возвращаясь к Меркурию каждые два меркурианских года (т.е. каждые 176 земных дней). (НАСА.)

периодами 1 : 1 (при которой «день» и «год» на Меркурии равны 88 земным суткам) должна быть зависимость 2 : 3. В соответствии с этим Колумбо постулировал, что меркурианский день составляет *точно* две трети меркурианского года. Это предположение подтвердилось десять лет спустя при полете «Маринера-10». Меркурий делает три оборота вокруг своей оси за каждые два полных «рейса» вокруг Солнца. Замечательный резонанс в самом центре Солнечной системы!



**Рис. 13. Луноподобный ландшафт Меркурия**

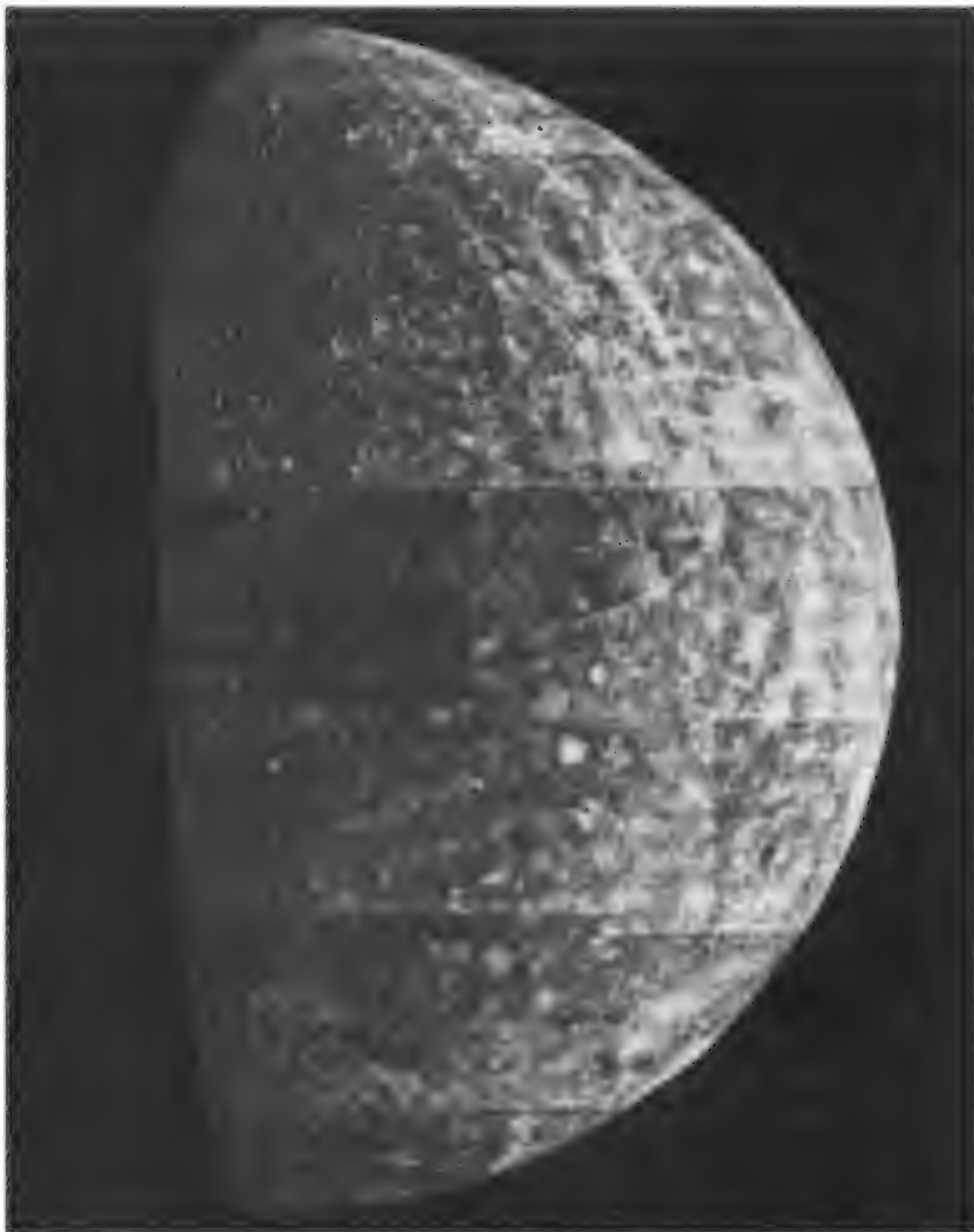
*Меркурий, подобно Луне, покрыт кратерами. Этот снимок северной части лимба планеты получен с расстояния 77 800 км. На самом краю планеты виден крутой обрыв, названный Уступ Виктория. Размер области в нижней части снимка составляет приблизительно 600 км. (НАСА, Лаборатория реактивного движения.)*

Из-за близости Меркурия к Солнцу подробные сведения о планете можно было получить только при помощи космических аппаратов. Эти сведения должны были бы стать главным результатом полета «Маринера-10». За несколько коротких дней в марте 1974 г. представлялась возможность узнать о Меркурии больше, чем за всю предшествующую историю человечества.



**Рис. 14. «Приближающееся полушарие»**

*Мозаика составлена из отдельных фотографий, полученных перед самым тесным сближением космического аппарата с планетой. В ландшафте преобладают многочисленные кратеры. Отчетливо видны также бассейны и равнины. Сразу после получения этих фотографий «Маринер-10» вошел в тень Меркурия и прошел в пределах 756 км от поверхности планеты. (НАСА, Лаборатория реактивного движения.)*



**Рис. 15. «Удаляющееся полушарие»**

*Мозаика составлена из отдельных фотографий, полученных приблизительно через 2 ч после наиболее тесного сближения, когда космический аппарат уже удалялся от планеты. Здесь в ландшафте больше равнин и меньше кратеров, чем на предыдущем снимке. Гигантский Бассейн Калорис расположен в средней части диска планеты, наполовину появившейся из ночной тени. (НАСА, Лаборатория реактивного движения.)*



Вскоре после полуночи 4 ноября 1973 г. громадная ракета «Атлас-Центавр» тяжело поднялась с мыса Канаверал. «Маринер-10» был выведен на орбиту по направлению к Венере. Пройдя мимо Венеры утром 5 февраля 1974 г., космический аппарат продолжал по инерции двигаться к своему основному месту назначения — Меркурию.

Затворы камер открылись, когда аппарат находился еще более чем в 5 млн. км от Меркурия. На таком огромном расстоянии изображения были немногим лучше, чем на расплывчатых фотографиях, полученных при помощи телескопов с Земли. Но в течение нескольких последующих дней «Маринер-10» находился в пределах всего лишь 756 км от безвоздушной планеты. К 29 марта 1974 г. разрешение увеличилось настолько, что стало возможно различать мелкие детали размерами до 150 м. Когда одна за другой начали приходить четкие, ясные фотографии, открылись захватывающие перспективы и невообразимые ландшафты. Меркурий на первый взгляд выглядит точно таким, как Луна!

Хотя фотографирование продолжалось в течение 10 дней, наилучшие фотографии были получены перед самым тесным сближением и сразу же после него. На рис. 14 показана мозаика «приближающегося изображения», а на рис. 15 — «удаляющегося изображения».

Между передачами этих изображений был перерыв, когда космический аппарат проходил в тени Меркурия. Когда «Маринер-10» скользил над ночной стороной планеты, приборы на борту космического аппарата показывали низкую температуру, равную  $-173^{\circ}\text{C}$ . Полуденная же температура на планете поднимается до  $427^{\circ}\text{C}$ . Приборы «Маринера-10» не только измерили поверхностную температуру планеты, но и обнаружили у Меркурия магнитное поле. Хотя и слабое по земным нормам (земное магнитное поле приблизительно в 100 раз сильнее меркурианского), оно все же много сильнее, чем магнитные поля Венеры и Марса.

Существование у Меркурия магнитного поля свидетельствует о том, что планета должна иметь железное ядро. Только при наличии железного ядра могло бы поддерживаться постоянное общее магнитное поле пла-

неты. Исходя из средней плотности планеты, ученые рассчитали, что диаметр железного ядра Меркурия составляет 3600 км. Гигантское железное ядро Меркурия по своим размерам равно Луне. Поскольку диаметр всей планеты составляет только 4880 км, ее железное ядро окружено мантией из пород, имеющей толщину всего 640 км.

Существование огромного железного ядра явилось одним из первых указаний на то, что Меркурий, несмотря на свой луноподобный внешний вид, сильно отличается от Луны, которая не имеет ни магнитного поля, ни железного ядра. После тщательного исследования фотографий, полученных с «Маринера-10», выявились и дополнительные различия между Луной и Меркурием.

Меркурий, как и Луна, покрыт кратерами. Типичная плотно усеянная кратерами область вблизи южного полюса Меркурия показана на рис. 16. Но даже в этих областях, усеянных множеством кратеров, между кратерами располагаются весьма протяженные равнины. Кратеры на Меркурии обычно разделены довольно сглаженными площадками.

Это совершенно непохоже на Луну. Там, по существу, нет межкратерных равнин. Лунные области с большой плотностью кратеров (называемые лунными материками) представляют собой перекрывающиеся кратеры без каких бы то ни было ровных поверхностей между ними.

Представляется весьма вероятным, что различие в силе тяжести на поверхности Луны и Меркурия привело к различиям в структуре областей, покрытых кратерами. Луна и Меркурий практически одинаковы по размерам, но из-за гигантского железного ядра Меркурий массивнее Луны. Астрономы обычно выражают массы планет и спутников через массу Земли (а не в миллионах или триллионах тонн). В таком случае масса Меркурия составляет  $1/18$  массы Земли, а масса Луны — только  $1/81$  массы Земли. Поскольку Меркурий в 4,5 раза массивнее Луны, все тела на Меркурии тяжелее. Тяжеловес, весящий на Земле 100 кг, на Луне весил бы только 16 кг, а на Меркурии — несколько более 38 кг.



**Рис. 16. Область южного полюса с высокой плотностью кратеров**

*На снимке, сделанном с высоким разрешением, представлена область вблизи южного полюса Меркурия, покрытая множеством кратеров. Различимы мелкие детали размером до 2 км. Южный полюс лежит за пределами нижнего края фотографии. Диаметр кратера с темным ободком и яркими лучами, расположенного в верхней части фотографии, равен 67 км. Эта мозаика была получена во время второго облета планеты космическим аппаратом, 21 сентября 1974 г. (НАСА, Лаборатория реактивного движения.)*

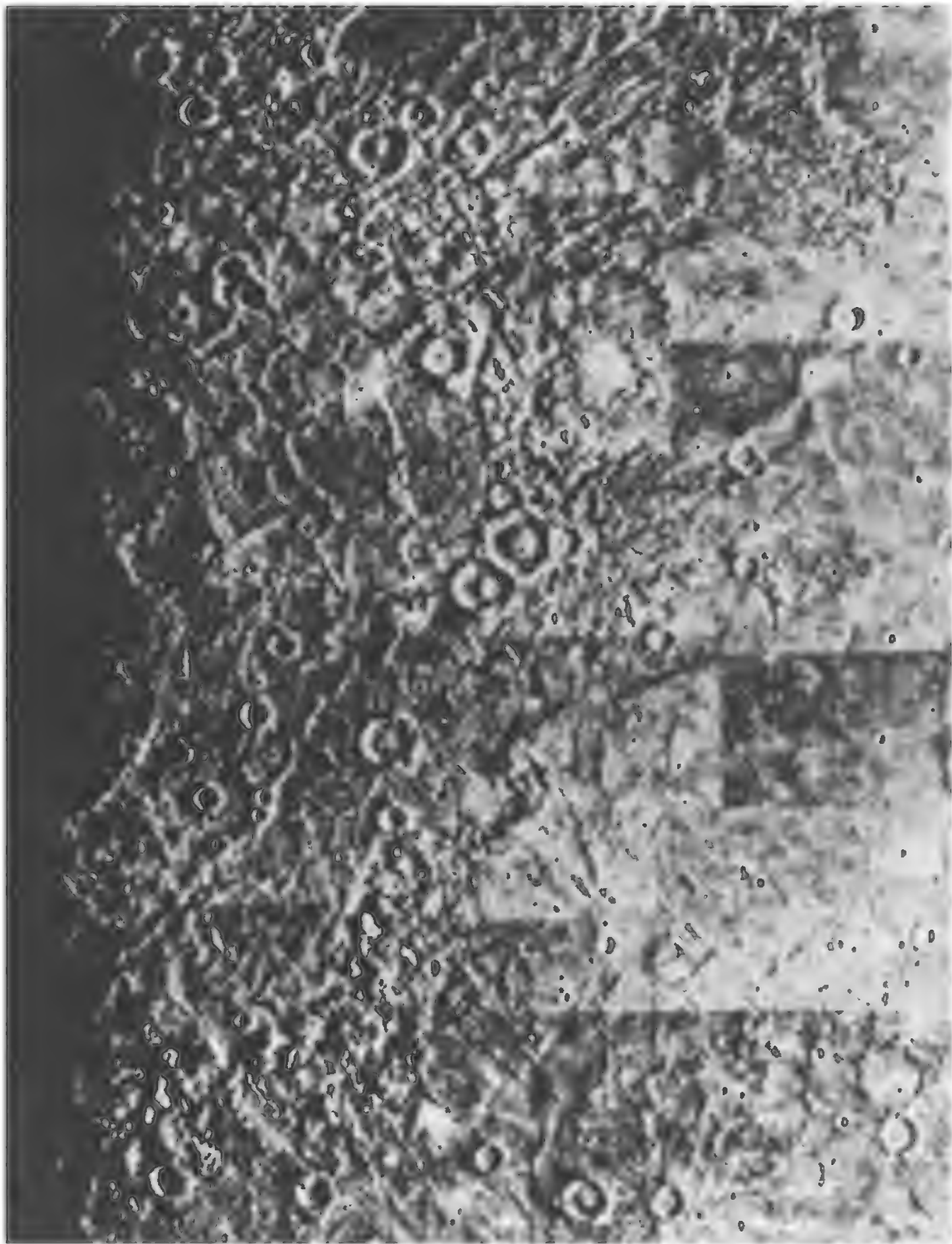
Поэтому говорят, что ускорение силы тяжести на поверхности Луны равно 0,16, а на поверхности Меркурия — 0,38 (ускорение силы тяжести на поверхности Земли принято за 1).

Все кратеры на Меркурии и Луне образовались при ударах метеоритов, астероидов и других планетезималей в далеком прошлом. При сильном столкновении с каким-либо из таких межпланетных камней из области, на которую пришелся удар, вырывалось огромное количество вещества (так называемые выбросы) и разлеталось во все стороны. Но поскольку ускорение силы тяжести на поверхности Меркурия в  $7/3$  раза больше, чем на Луне, вещество выбросов при кратерообразующем ударе на Меркурии не разбрасывалось так далеко, как при сравнимом по силе ударе на Луне. Действительно, выбросы от удара на Меркурии покрывают площадь, составляющую только  $1/6$  соответствующей площади на Луне. Поэтому вторичные ударные кратеры на Меркурии тесно группируются вокруг первичного ударного кратера, а на Луне они занимают в шесть раз большую площадь. Это означает, что равнины, существовавшие на Меркурии до образования кратеров, не уничтожались там до конца. Действительно, на Меркурии между кратерами еще видны древние равнины.

Внимательно исследуя фотографии, полученные «Маринером-10», геологи заметили еще одно существенное различие между Меркурием и Луной: по всей планете встречаются крутые уступы с мелкими зубцами, обычно высотой 1–2 км и длиной в несколько сотен километров.

С первого взгляда уступы трудно заметить. На фотографии рис. 13 такой уступ проходит почти по лимбу планеты. Полагают, что уступы — это гигантские складки, образовавшиеся в коре Меркурия в процессе остывания и сжатия ядра планеты. Никаких подобных образований на Луне не обнаружено.

Хотя нетренированному глазу увидеть уступы довольно трудно, в отношении Бассейна Калорис невозможно ошибиться. Бассейн Калорис — это самое крупное одиночное образование, обнаруженное при помощи «Марине-



**Рис. 17. Бассейн Калорис**

*Этот громадный бассейн, наполовину скрытый на ночной стороне планеты,—самое большое образование, наблюдаемое с «Маринера-10». Внешний край бассейна очерчен кольцом гор диаметром 1300 км. Горы поднимаются на высоту 2 км над складчатым дном бассейна. (НАСА, Лаборатория реактивного движения.)*

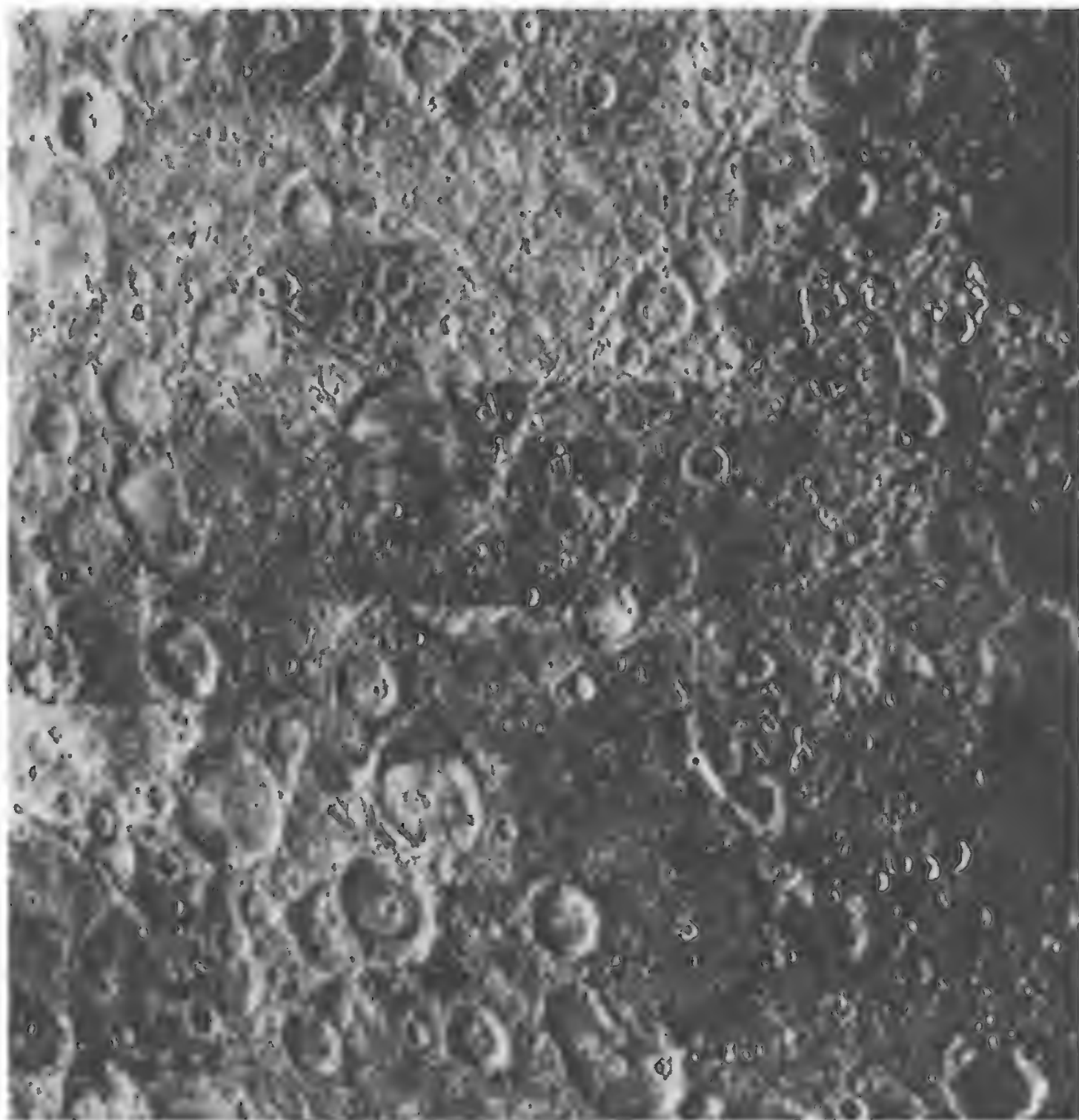
ра-10». Как показано на рис. 17, этот бассейн, диаметром в 1300 км, окружен горами, поднимающимися на 2 км над окружающими равнинами. К сожалению, во время пролета космического аппарата половина этого удивительного образования была скрыта в ночной тени.

Бассейн Калорис (от латинского «горячий») получил свое название потому, что каждые два меркурианских года он оказывается в подсолнечной точке, когда планета находится в перигелии. Другими словами, каждые 176 дней, когда Меркурий ближе всего подходит к Солнцу, светило оказывается в зените над Бассейном Калорис. Таким образом, при каждом втором обращении планеты вокруг Солнца Бассейн Калорис становится самым жарким местом на планете.

Бассейн Калорис — явно обширное ударное образование. В конце эпохи кратерообразования, приблизительно 3–4 млрд. лет назад, огромный астероид — возможно, самый большой из всех когда-либо ударявшихся о поверхность Меркурия — обрушился на планету. В отличие от прежних ударов, которые только покрывали поверхность Меркурия «оспинами», это сильное столкновение вызвало разрыв мантии до самых расплавленных недр планеты. Оттуда хлынула огромная масса лавы и затопила гигантский кратер. Затем лава застыла и затвердела, но «волны» на море расплавленной породы сохранились навечно.

По-видимому, удар, потрясший планету и приведший к образованию Бассейна Калорис, оказал значительное воздействие и на некоторые другие области Меркурия. Диаметрально противоположно Бассейну Калорис (т. е. точно на противоположной от него стороне планеты) расположена волнообразная область необычного вида. Эта территория, показанная на рис. 18, покрыта тысячами тесно расположенных глыбообразных холмов высотой 0,25–2 км. Естественно предположить, что мощные сейсмические волны, возникшие при ударе, образовавшем Бассейн Калорис, пройдя по планете, сфокусировались на другой ее стороне. Грунт вибрировал и сотрясался с такой силой, что тысячи гор высотой более километра поднялись буквально за считанные секунды.





**Рис. 18. Специфическая местность**

*Диаметрально противоположно Бассейну Калорис (т. е. на противоположной от него стороне планеты) расположена необычная складчатая (волнообразная) местность. Ее площадь составляет порядка 500 000 км<sup>2</sup>, что примерно вдвое больше штата Колорадо. Мощные сейсмические волны от удара, послужившего причиной образования Бассейна Калорис, могли привести к формированию волнообразной поверхности этой части планеты. (НАСА, Лаборатория реактивного движения.)*

Это, по-видимому, было самое катастрофическое событие за всю историю планеты.

30 марта 1974 г. камеры на борту «Маринера-10» были отключены — аппарат быстро удалялся от планеты.

Полет его продолжался. Человечество получило сотни и сотни захватывающих фотографий невообразимого необитаемого ландшафта, который до этого не видело ни одно живое существо во Вселенной.

Четырьмя годами раньше, когда полет «Маринера-10» еще только планировался, Джузеппе Коломбо заинтересовался, по какой орбите будет двигаться космический аппарат вокруг Солнца после того, как он покинет окрестности Меркурия. Коломбо установил, что «Маринер-10» в конце концов должен перейти на сильно вытянутую эллиптическую орбиту, делая один оборот вокруг Солнца за 176 суток. Но ведь это точно два меркурианских года! Следовательно, «Маринер-10» должен возвращаться к Меркурию каждые 176 суток. Возможна вторая встреча. И третья.

Во второй раз «Маринер-10» пролетел мимо Меркурия 21 сентября 1974 г. Было получено еще около 2000 фотографий, включая показанные на рис. 17. Днем 16 марта 1975 г. «Маринер-10» снова пронесся над поверхностью планеты (на этот раз совсем близко — на расстоянии всего 300 км) и опять передал на Землю множество фотографий. Но никаких новых деталей на сей раз не было замечено.

«Маринер-10» возвращается к Меркурию каждые два года. Напомним, что два меркурианских года точно равны трем суткам на Меркурии. Поэтому всякий раз, когда «Маринер-10» возвращается к Меркурию, планета успевает повернуться вокруг оси точно три раза. Это означает, что при каждом пролете аппарата мимо планеты к Солнцу обращены одни и те же ее кратеры и равнины, так что вид планеты при каждом пролете по существу не меняется.

«Маринер-10» обозрел половину планеты. После третьего пролета топлива осталось уже недостаточно, чтобы удерживать космический аппарат от произвольного кувыркания. Но «Маринер-10» продолжает возвращаться к Меркурию каждые 176 дней. И всякий раз, через два меркурианских года, одни и те же кратеры, равнины и бассейны предстают перед невидящими механическими глазами, когда космический аппарат беспомощно движется по своей вечной орбите.

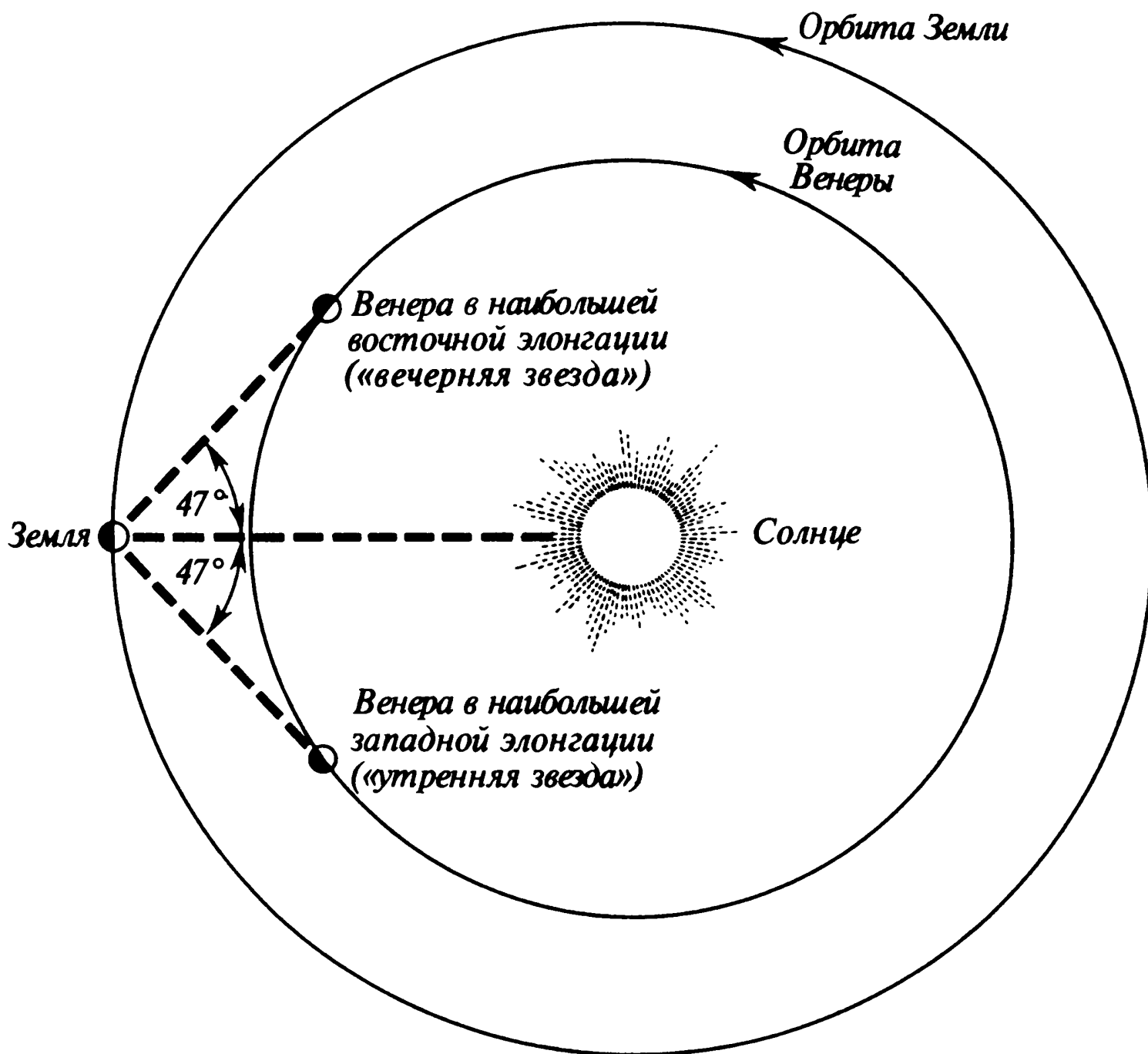


## ПОКРЫТАЯ ОБЛАКАМИ ВЕНЕРА

Венера часто бывает одним из самых ярких объектов на небе. В максимуме блеска Венера в десять раз ярче Сириуса — самой яркой из видимых звезд. Только Солнце и Луна способны затмить эту планету.

Яркость Венеры объясняется тем, что она полностью окружена сверкающими желтовато-белыми облаками и расположена близко к Солнцу. Находясь от него на расстоянии всего 108 млн. км, Венера получает в два раза больше солнечного света, чем Земля. Толстое покрывало из облаков отражает большую часть падающего на планету солнечного света, делая ее одним из самых великолепных объектов на небе.

Поскольку Венера находится ближе к Солнцу, чем Земля, ее можно увидеть только на западе после захода Солнца (как так называемую вечернюю звезду) или на востоке до восхода Солнца (как утреннюю звезду). Подобную картину мы наблюдаем и с Меркурием. Но поскольку орбита Венеры в два раза больше орбиты Меркурия, Венера может появляться гораздо дальше от Солнца, что облегчает ее наблюдение. Как показано на рис. 19, Венеру можно видеть на небе на расстоянии вплоть до  $47^\circ$  от Солнца. Иначе говоря, Венера может восходить за 3 ч до восхода Солнца и заходить через 3 ч после его захода. В это время планету без особого труда удастся наблюдать с Земли. И если Меркурий никогда даже мельком не видели многие астрономы-профессионалы, то Венеру посчастливилось наблюдать множеству людей во всем мире, которые получили тем самым возможность хотя бы просто восхищаться одним из великолепнейших небесных объектов.



**Рис. 19. Орбита Венеры**

Находясь от Солнца на среднем расстоянии 108 млн. км, Венера делает полный оборот вокруг него по орбите за 225 суток. Наземному наблюдателю нетрудно увидеть планету вблизи положений наибольшей восточной или наибольшей западной элонгаций. В период наибольшей западной элонгации Венера неделями господствует на пред-рассветном небе. В период наибольшей восточной элонгации Венера после захода Солнца свободно затмевает все звезды в западной части неба.

Венере суждено было сыграть решающую роль в истории астрономии. В начале XVII в. Галилео Галилей услышал толки об исключительном изобретении, состоящем из линз, смонтированных на концах полой трубы. Удаленные предметы, рассматриваемые через это

приспособление, казались расположенными ближе и увеличивались в размере. Галилей сразу же приступил к сооружению такого приспособления.

Галилей не изобрел телескоп. Он просто первым направил его на небо. Его наблюдения—впервые более чем за тысячу лет, в течение которых взор человека обращался к небесам,—привели к новым неожиданным откровениям о Вселенной. Галилей обнаружил кратеры на Луне, пятна на Солнце и четыре спутника Юпитера. Он обнаружил также, что у Венеры, как и у Луны, меняются фазы.

Наблюдая Венеру в течение многих месяцев, Галилей заметил, что фазы Венеры связаны с ее кажущимся размером, видимым в телескоп. Когда планета находится в серповидной фазе, она выглядит очень большой. А месяц спустя, когда Венера освещена более чем наполовину, ее диск кажется совсем маленьким. Как видно из рис. 20, зависимость между размером и фазой Венеры ясно показывает, что планета движется вокруг Солнца. Впервые на основе наблюдений были получены доказательства того, что «еретические суждения» Коперника и Кеплера в конечном счете могут быть верны. Действительно, Солнце, а не Земля находится в центре Вселенной. За подобные «богохульства» инквизиция судила Галилея и признала его виновным.

В течение последующих столетий выяснилось, что Венера и Земля в некоторых отношениях удивительно похожи. Обе планеты имеют приблизительно один и тот же размер, близкие массы и примерно одинаковые среднюю плотность и ускорение силы тяжести на поверхности. Даже атмосфера есть у обеих планет. Явное отличие состоит лишь в том, что у Земли есть Луна, а у Венеры спутников нет. Кроме того, Венера постоянно и полностью покрыта облаками, а Земля—только частично. С тех пор повелось считать Венеру и Землю планетами-сестрами; кое-кто даже говорил о возможности существования богатой растительности под облаками Венеры. Ничего не могло быть дальше от истины: поверхность Венеры—клокочущий ад, более раскаленный и жуткий, чем опаленные Солнцем кратеры Меркурия.

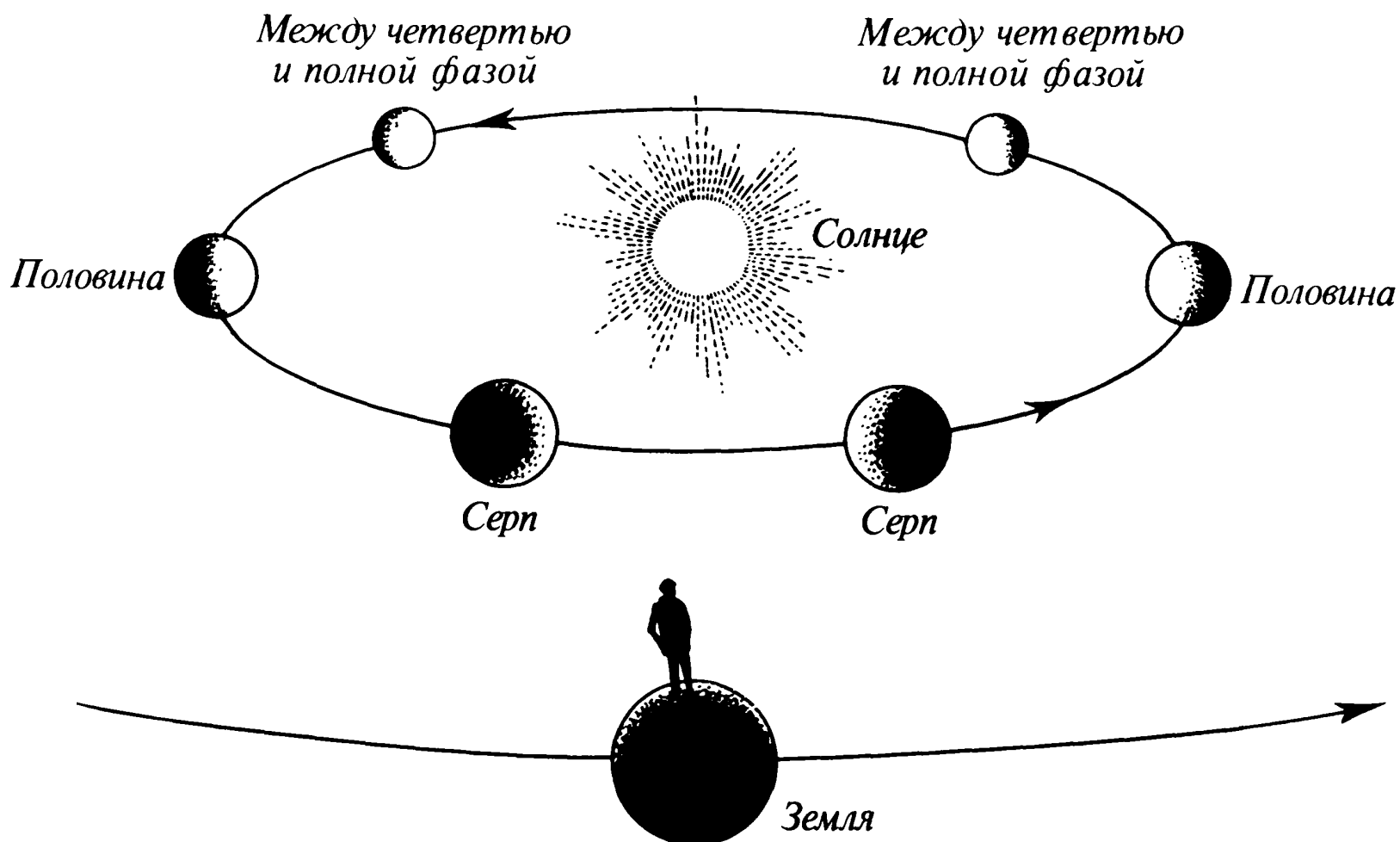


Рис. 20. Фазы Венеры

*К Земле часто бывает обращена значительная часть темной ночной стороны Венеры. Когда планета близка к Земле, она кажется большой и находится в серповидной фазе. Когда же Венера находится далеко от Земли, она кажется маленькой и освещена более чем наполовину.*

До последнего времени мало что было известно о Меркурии, поскольку эта крошечная планета так близка к Солнцу, что ее трудно наблюдать с Земли. Но и Венера — хотя она находится дальше от Солнца и поэтому ее легко наблюдать с Земли — оставалась окруженной тайной. Наземные наблюдатели могут видеть только сверкающие вершины облаков.

Первая попытка проникнуть в толстый облачный покров Венеры была предпринята в начале 1960-х годов. Ученые США и Советского Союза использовали для радиолокации Венеры антенны, предназначенные для слежения за спутниками. Радиоволны легко проникли через облака и отразились от поверхности планеты. Анализ отраженного радиосигнала показал, что Венера очень медленно вращается вокруг своей оси с востока на

запад (т. е. в обратном направлении), делая один оборот за 243 дня. Другими словами, Солнце на Венере восходит на западе, а заходит на востоке. Период вращения Венеры вокруг оси измеряется относительно звезд. Каждые 243 дня наблюдатель, находящийся на Венере, должен был бы увидеть на небе одну и ту же конфигурацию звезд. Однако за это время Венера проходит значительное расстояние по орбите. За 243 дня, когда одни и те же звезды вновь оказываются видимыми в тех же положениях, наблюдатель на Венере мог бы увидеть пару восходов и заходов Солнца. Таким образом, для наблюдателя на поверхности Венеры между двумя последовательными моментами, когда Солнце находится в зените, протекает 116,8 земных суток (это и есть «венерианский день»).

Каждые 584 дня Венера проходит между Землей и Солнцем. Однако на самом деле Венера очень редко проецируется на солнечный диск (так называемое прохождение), так как орбита Венеры несколько наклонна к орбите Земли. Последнее прохождение Венеры произошло в 1882 г., следующее предстоит 8 июня 2004 г.; следовательно, на протяжении всего двадцатого столетия не было ни одного прохождения. Тем не менее с Земли можно видеть, как Венера проходит чуть севернее или чуть южнее Солнца каждые 584 дня. Такое прохождение, когда к наземному наблюдателю обращена ночная сторона Венеры, называется «нижним соединением».

Интересно заметить, что 584 дня точно составляют 116,8 дня, взятых 5 раз. Иными словами, время между последовательными нижними соединениями точно равно 5 венерианским суткам. Поскольку между нижними соединениями протекает точно 5 венерианских суток, к Земле обращена всегда одна и та же ночная сторона Венеры. Следовательно, обратное вращение Венеры удивительным образом связано с обращением Земли вокруг Солнца. Если бы наш взгляд мог проникнуть сквозь облака Венеры, мы видели бы один и тот же ночной ландшафт каждый раз, когда Венера проходила бы между Землей и Солнцем. Еще один удивительный резонанс в Солнечной системе!



**Рис. 21. Вид Венеры с Земли**

*Поверхность Венеры постоянно скрыта от взоров наблюдателей толстым желтовато-белым облачным покровом. Посылая к планете радиоимпульсы и принимая отраженные от ее поверхности сигналы, ученые установили, что Венера вращается в обратном направлении: Солнце там восходит на западе, а заходит на востоке.*

Эта связь вращения Венеры вокруг оси с обращением Земли вокруг Солнца была обнаружена с помощью радиолокации. Хотя облачный покров Венеры препятствует оптическим наблюдениям ее поверхности, радиоволны свободно проникают через толстую атмосферу и отражаются от поверхности планеты. Анализируя отраженный от Венеры сигнал, Ричард М. Гольдстейн сумел установить существование нескольких больших кратеров на ее поверхности. Абсолютно при всех нижних соединениях, когда Венера находится ближе всего к Земле, перед радиолокаторами предстают одни и те же кратеры.

Так как Венера всегда находится под облачным покровом, то подробные сведения о ней можно было получить только при помощи космических аппаратов. Поэтому Венера стала одним из первых объектов исследований, предусмотренных советской и американской космическими программами. Действительно, к Венере было направлено почти столько же космических аппаратов, как к Марсу.

Советский Союз и США избрали весьма различные подходы к проблеме зондирования Венеры. Американская программа предусматривала пролеты космических аппаратов вблизи планеты: во время сближения инструменты, установленные на борту аппаратов, должны были на расстоянии замерять изменения в состоянии атмосферы. Советский план состоял в том, чтобы направлять зонды непосредственно через атмосферу Венеры и измерять характеристики атмосферы по мере движения зонда к поверхности.

«Маринер-2» был первым космическим аппаратом, совершившим успешный полет к Венере (две предыдущие попытки, «Венера-1» и «Маринер-1», оказались неудачными). Во время его полета было установлено, что температура в атмосфере Венеры достигает  $400^{\circ}\text{C}$ .

Полученный результат подтвердил существовавшее ранее предположение, что на Венере действительно очень высокая температура. Это объясняется прежде всего так называемым «парниковым эффектом». Чтобы понять его действие, представьте себе автомобиль с закрытыми окнами, стоящий в солнечный день у обочины дороги.



**Рис. 22. Вид Венеры из космоса**

*Эта эффектная фотография Венеры крупным планом была получена «Маринером-10» 6 февраля 1974 г. с расстояния 720 000 км. Облачный покров простирается вверх до высоты 65 км над поверхностью планеты. (НАСА, Лаборатория реактивного движения.)*

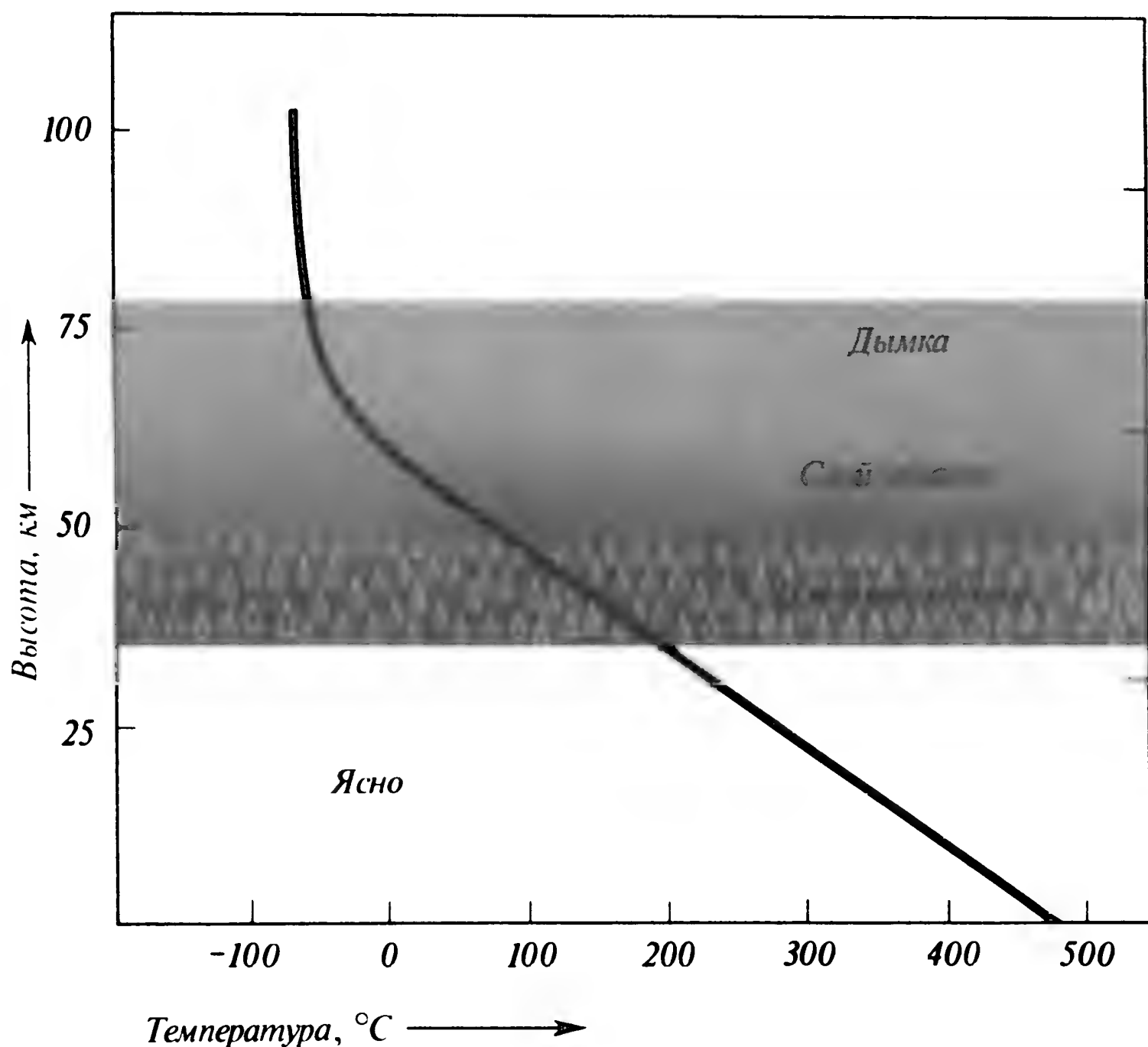


Если машина простоит так несколько часов, то температура внутри ее может стать гораздо выше температуры воздуха снаружи. Причина заключается в том, что видимый солнечный свет свободно проходит в машину через оконные стекла. Частично солнечный свет отражается обратно, а частично поглощается предметами внутри автомобиля (например, сиденьями), которые начинают нагреваться. Нагретые предметы переизлучают поглощенную ими энергию, но уже не в видимом диапазоне, а в инфракрасном, т. е. на значительно более длинных волнах. Инфракрасное излучение не может проходить наружу через стекло, в результате энергия остается как бы «пойманной» в машине. И внутри машины становится жарко. По этой же причине сохраняется тепло в оранжереях.

Подобным образом облака Венеры поглощают и задерживают солнечный свет. Вот почему атмосфера Венеры такая горячая. Но никто не представлял себе, что на Венере может быть жарче, чем на Меркурии.

В конце 60-х годов в результате полетов «Маринера-5», «Венеры-4», «Венеры-5» и «Венеры-6» были получены многочисленные более точные данные об атмосфере Венеры. К этому времени стало ясно, что высокая температура на планете сопровождается огромным, сокрушающим атмосферным давлением. И пока американцы сосредоточили все свои силы на исследовании Луны при помощи аппаратов, пилотируемых человеком, в Советском Союзе были разработаны более тяжелые и прочные космические аппараты, способные выдержать суровые условия на Венере. Этот труд увенчался успешными запусками «Венеры-7» и «Венеры-8» в начале 70-х годов. «Венера-8» позволила обнаружить *нижнюю границу* облачного покрова Венеры на высоте 35 км над поверхностью планеты. Так было установлено, что облачный покров не простирается до самой поверхности планеты. Некоторые из последних аппаратов типа «Венера» успешно осуществили передачу данных с поверхности планеты.

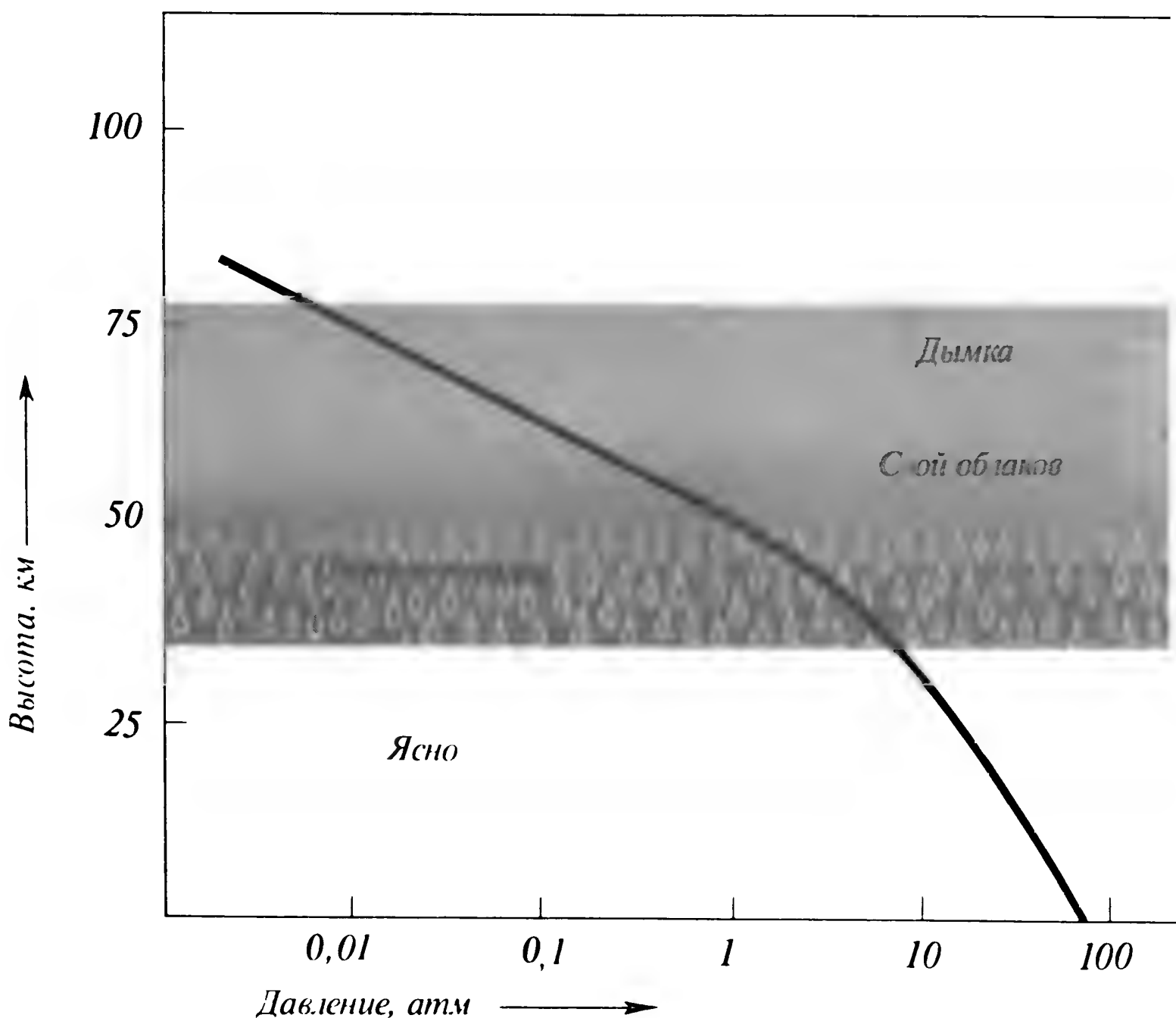
На основе всех данных, полученных при помощи «Маринеров» и «Венер», ученые смогли составить довольно полную картину атмосферы Венеры. Изменение



**Рис. 23. Температура в атмосфере Венеры**

Профиль температуры в атмосфере Венеры построен на основании объединенных данных, полученных во время полетов американских и советских космических аппаратов серий «Маринер» и «Венера». Температура на верхней границе облаков составляет около  $-50^{\circ}\text{C}$ . Ниже этой границы температура резко возрастает с уменьшением высоты. На поверхности Венеры температура достигает поистине устрашающей величины, равной  $475^{\circ}\text{C}$ .

температуры в атмосфере Венеры показано на рис. 23. На верхней границе облаков на высоте около 65 км над поверхностью планеты температура низкая, порядка  $-50^{\circ}\text{C}$ . С приближением к поверхности температура быстро возрастает, становясь поистине испепеляющей — на поверхности температура достигает  $475^{\circ}\text{C}$ . Для сравнения



**Рис. 24. Давление в атмосфере Венеры**

*Профиль давления в атмосфере Венеры также построен на основании объединенных данных, полученных с помощью космических аппаратов серий «Маринер» и «Венера». (Давление указано в атмосферах; 1 атм соответствует атмосферному давлению на Земле на уровне моря.) Атмосферное давление на Венере на уровне грунта буквально сокрушающее — 90 атм.*

напомним, что типичная полуденная температура на Меркурии равна только  $430^{\circ}\text{C}$ . В отличие от лишённого атмосферы Меркурия, который ночью остывает, ночная сторона Венеры никогда не охлаждается. Плотная атмосфера препятствует переизлучению тепла в пространство во время длинной венерианской ночи. На Венере

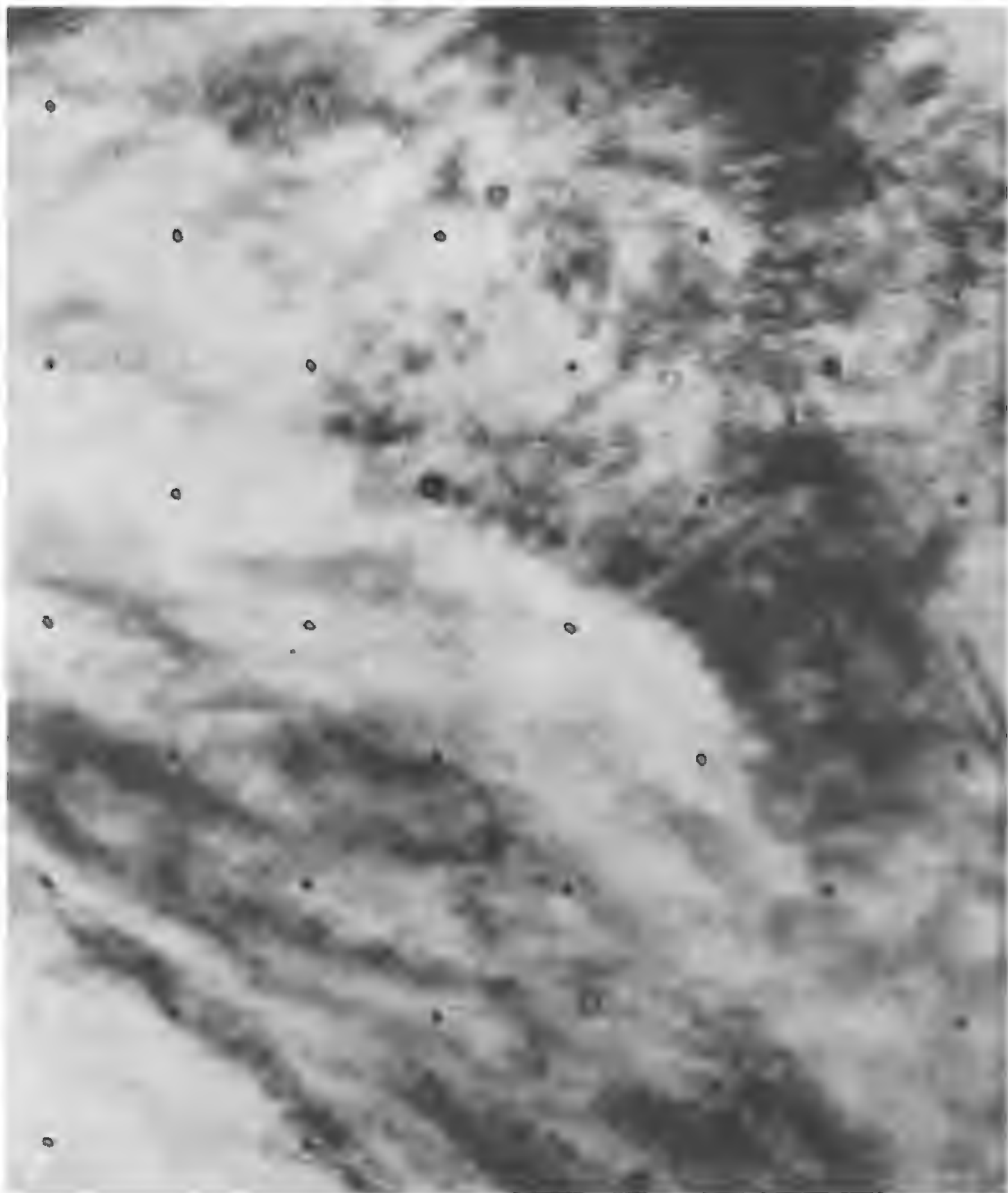
так невероятно жарко, что ночью на неосвещенной стороне планеты камни светятся тусклым красным светом, словно горячие угли в электрокаминне.

На Венере не только очень высокая температура, но и огромное атмосферное давление. Это показано на рис. 24. Ученые обычно предпочитают измерять давление в «атмосферах»; 1 атм равна среднему давлению воздуха на Земле на уровне моря, которое составляет приблизительно  $1 \text{ кг/см}^2$ . Как видно из рис. 24, на Венере давление в 1 атм достигается на высоте 50 км над поверхностью планеты, а вблизи поверхности оно возрастает до сокрушающих 90 атм (примерно  $0,1 \text{ т/см}^2$ ). Чтобы найти подобное давление на Земле, придется спуститься в океан до глубины 1000 м.

Полеты «Маринеров» и «Венер» показали также, что атмосфера Венеры состоит почти целиком из углекислого газа. Он составляет 97% атмосферы Венеры, 2% приходится на азот и 1% — на все другие газы вместе взятые. Для сравнения заметим, что в атмосфере Земли содержится примерно 80% азота, 20% кислорода и менее 0,1% углекислого газа.

Наиболее полная информация о Венере была получена в результате полетов советских и американских ракет в середине 70-х годов. 5 февраля 1974 г. «Маринер-10» пролетел мимо Венеры на пути к Меркурию. Во время его сближения с Венерой было получено много фотографий, показавших, что атмосфера планеты в высшей степени турбулентна. Снимок планеты в целом приведен на рис. 22, а на рис. 25 показана облачная структура крупным планом.

По фотографиям «Маринера-10» было обнаружено явление, замеченное ранее в ходе наземных наблюдений. Как видно на рис. 26 (а–в), атмосфера очень быстро вращается вокруг планеты. По наблюдениям некоторых деталей в облаках было установлено, что атмосфера делает полный оборот вокруг планеты всего за четыре дня. Сама планета, как мы уже знаем, вращается значительно медленнее, совершая оборот вокруг оси за 243 дня. Это значит, что на Венере скорость ветра должна быть гигантской — обычно 100 м/с. Атмосфера, как и сама планета, имеет обратное вращение.



**Рис. 25. Облака Венеры крупным планом**

*5 февраля 1974 г. «Маринер-10» пролетел мимо Венеры на высоте всего 5800 км над верхней границей облаков. Данная фотография была получена вскоре после наиболее тесного сближения. Размер наименьших различимых деталей составляет порядка 7 км. (НАСА, Лаборатория реактивного движения.)*

Поскольку атмосфера Венеры такая толстая и столь быстро движется вокруг планеты, многие ученые раньше считали, что фотографирование поверхности планеты — это пустая трата времени и сил. Предполагалось, что толстая атмосфера не пропускает солнечный свет и поверхность постоянно находится в темноте. Ведь по существу это должна быть черная как смоль поверхность — такая поверхность у нас на Земле находится на глубине 1000 м ниже уровня океана. Если даже какой-то свет и проникает через эту атмосферу, то из-за чрезвычайно больших скоростей ветра вряд ли можно увидеть что-нибудь, кроме сглаженной поверхности, продуваемой песком. Во всяком случае, так думали довольно многие.

В октябре 1975 г. Советский Союз достиг впечатляющего двойного успеха, осуществив мягкие посадки «Венеры-9» и «Венеры-10». Оба космических аппарата выжили на поверхности планеты достаточно продолжительное время, чтобы передать панорамы мест посадки. К всеобщему удивлению, по всей площади можно было видеть камни с острыми углами. Как видно на рис. 27, место посадки «Венеры-9» кажется более густо усыпанным камнями, чем место посадки «Венеры-10». Помимо температуры и давления советские космические аппараты измерили также скорость ветра, которая оказалась удивительно низкой — всего только 3,5 м/с. Такая низкая скорость ветра на поверхности Венеры означает, что в атмосфере должен существовать слой с огромным градиентом скорости, где происходит переход от высокой скорости к низкой.

Инопланетный гость Солнечной системы с первого взгляда мог бы подумать, что у Венеры и Земли много общего. Они почти одинаковы по размерам, массе, плотности и т. д. И орбиты их расположены неподалеку друг от друга в одной и той же части Солнечной системы. Таким образом, они должны были образоваться по существу из одного и того же первичного вещества. Но при более тщательном наблюдении вскоре обнаруживается, что планеты очень сильно различаются. Что же могло сделать эти планеты такими непохожими?

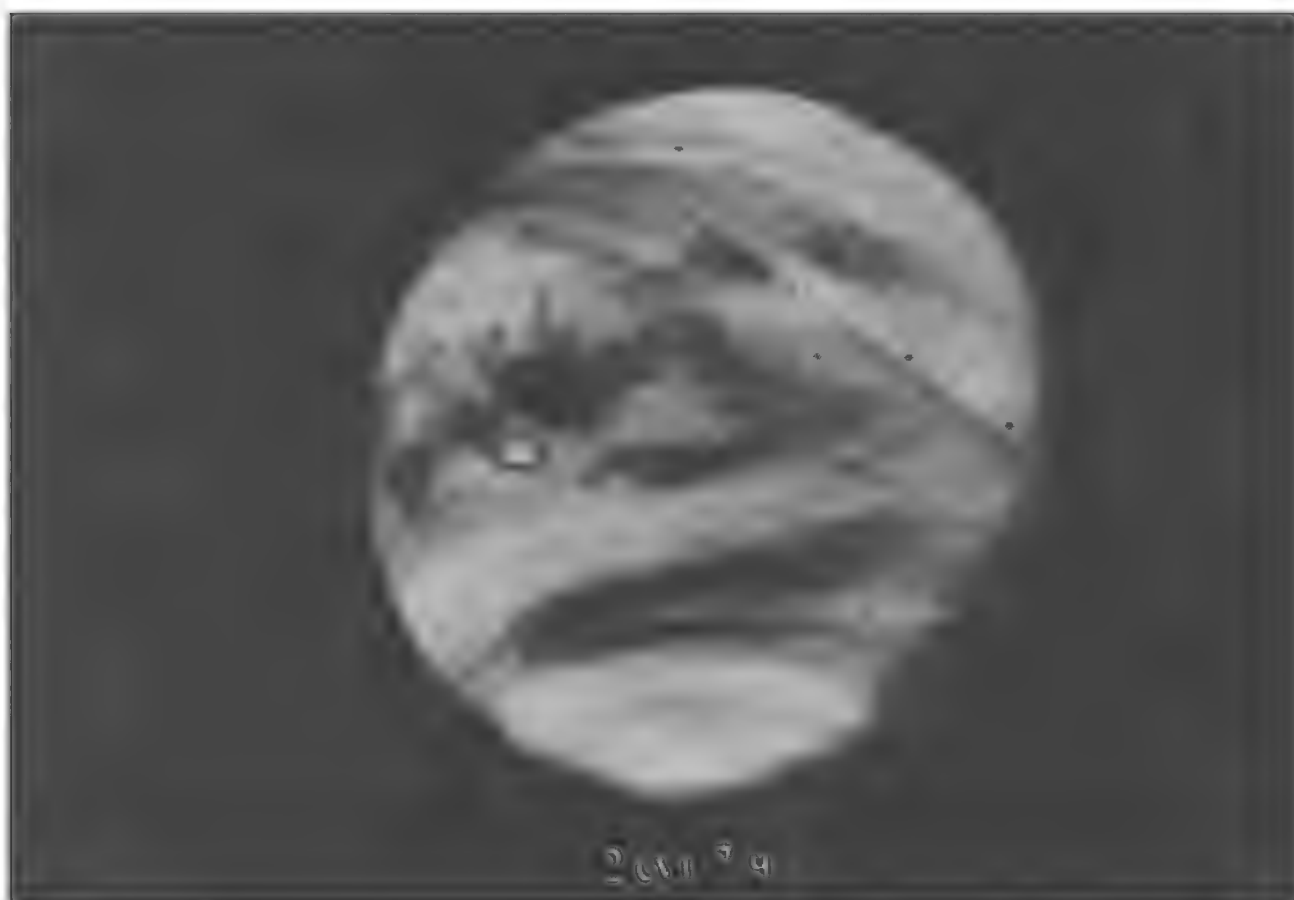
a



**Рис. 26. Вращение атмосферы Венеры**

*Эти три фотографии были получены с 7-часовыми интервалами через два дня после пролета «Маринера-10» мимо Венеры. Проследив за картиной облаков на планете (см. стрелку), можно обнаружить, что атмосфера делает оборот вокруг планеты за 4 дня. (НАСА, Лаборатория реактивного движения.)*

Может показаться удивительным, что на Земле так много углекислого газа. Однако земной углекислый газ химически связан в породах — в карбонатах кальция. Некоторые породы под воздействием углекислого газа воздуха могут образовать карбонаты кальция, подобно тому как железо, взаимодействуя с кислородом воздуха, образует ржавчину. Более важным обстоятельством является то, что на Земле морские живые организмы в течение сотен миллионов лет «извлекали» углекислый газ из морской воды (и, в конечном счете, из атмосферы). Образовавшиеся при этом морские ракушки, со-



6



6





„Венера-9”



„Венера-10”

Рис. 27. Каменистая поверхность Венеры

В октябре 1975 г. два советских космических аппарата («Венера-9» и «Венера-10») осуществили мягкую посадку на Венеру и передали эти панорамы поверхности планеты. На снимке, полученном с «Венеры-9» (верхняя фотография), видны острые камни размерами 30-40 см. Место посадки «Венеры-10» (нижняя фотография) было, по-видимому, более сглаженным. (Национальный центр космических научных данных США.)

державшие углекислоту, столетиями превращались в известняк и мрамор. И конечно, растения в течение миллиардов лет в процессе фотосинтеза удаляли углекислый газ из воздуха, обогащая при этом атмосферу кислородом. Углерод, образовавшийся из этого углекислого газа, содержится в залежах угля и нефти.

Углекислый газ как нельзя лучше способствует поддержанию все усиливающегося парникового эффекта. Что касается Венеры, то на ней действие этого эффекта ничто не в силах остановить. На Венере никогда не было достаточно холодно для того, чтобы путем химических или биологических реакций углекислый газ мог быть удален из атмосферы. По существу, на Земле могло быть не меньше углекислого газа, чем на Венере. Но на Земле—хотя она всего на 41 млн. км находится дальше от Солнца, чем Венера,—никогда не было настолько жарко, чтобы вступил в действие парниковый эффект. Поэтому на Земле могли осуществляться процессы, способствующие удалению углекислого газа из воздуха. Эти «лишние» несколько миллионов километров в расстоянии от Солнца буквально проложили границу между жизнью и смертью.

Через 5 млрд. лет в структуре Солнца произойдут большие изменения. Истратив свои запасы ядерного горючего, Солнце чрезвычайно сильно увеличится в размере. И когда поверхность Солнца распространится до нашей планеты, океаны закипят, а из пород начнет выделяться углекислый газ, тогда под постоянным облачным покровом на Земле образуется гнетущая углекислая атмосфера. Возможно, то, что мы наблюдаем сегодня на Венере,—это мрачное будущее нашей собственной планеты.

---

## НАША ПОЛНАЯ ЖИЗНИ ЗЕМЛЯ

Из всех объектов, которые обращаются вокруг Солнца, лучше всего мы знаем нашу собственную планету — Землю. Мы живем на ее поверхности, пьем ее воду, дышим воздухом ее атмосферы. Совершенно естественно, что об этой планете, третьей от Солнца, нам известно больше, чем о любом другом объекте Вселенной.

Инопланетным путешественникам, окажись они вблизи Солнечной системы, сразу стало бы ясно, что Земля — активная, динамическая планета. Если бы космический аппарат инопланетян приблизился к внутренним областям Солнечной системы, их взору открылась бы картина облачных вихрей в земной атмосфере. Издалека Земля, вероятно, выглядела бы заманчивее любого из ее соседей. В самом деле, Венера постоянно окружена толстым сплошным облачным покровом, не позволяющим даже мельком увидеть ее поверхность. И в атмосфере Марса — за исключением периодов редких глобальных пылевых бурь — почти никогда не обнаруживается сколько-нибудь значительной активности. Но Земля при взгляде из космоса непрерывно демонстрирует сложный танец бело-голубых ажурных узоров. Тонкие очертания и вихри непрерывно меняются, смещаются, появляются и исчезают, находясь под воздействием вечных изменений давления, температуры и влажности в атмосфере планеты.

При более внимательном наблюдении и анализе инопланетяне, вероятно, были бы весьма озадачены, обнаружив, что атмосфера Земли сильно отличается от атмосферы любого из ее соседей. Как видно из табл. 1, атмосферы Венеры и Марса почти целиком состоят

Таблица 1

## Химический состав атмосфер трех планет

|                | Венера | Земля | Марс |
|----------------|--------|-------|------|
| Азот           | 2%     | 78%   | 3%   |
| Кислород       | ~ 0    | 21%   | ~ 0  |
| Углекислый газ | 97%    | ~ 0   | 95%  |
| Другие газы    | 1%     | 1%    | 2%   |

из углекислого газа. А в атмосфере Земли углекислый газ составляет только 0,03%. Атмосфера Земли в основном представляет собой смесь азота и кислорода, содержащихся в пропорции 4:1. А в атмосферах Венеры и Марса эти два газа присутствуют лишь в очень небольших количествах.

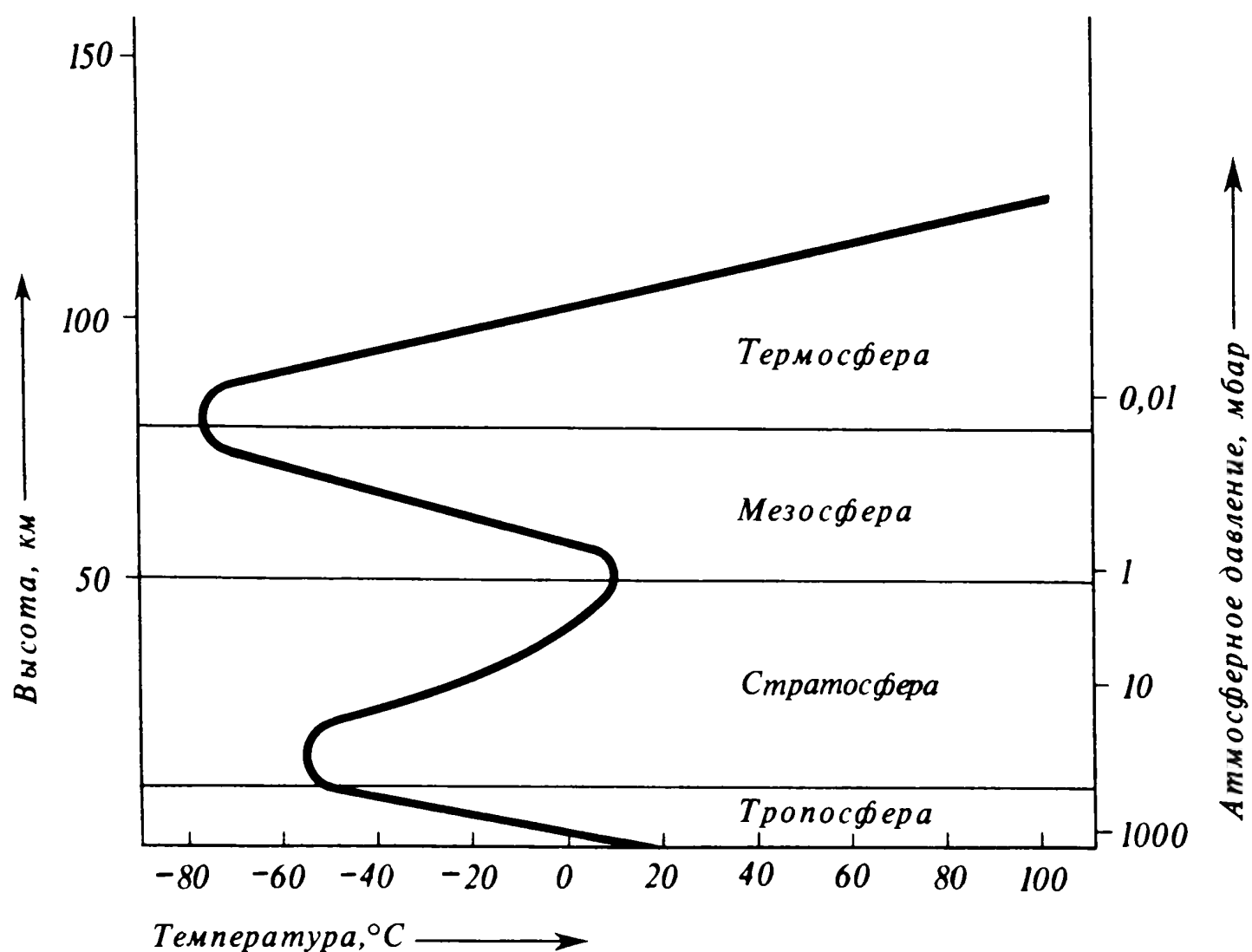
Как это могло случиться? Почему Земля с ее азотно-кислородной атмосферой находится между двумя планетами, обладающими почти чисто углекислой атмосферой? Только приземлившись на нашу планету и изучив геологические данные, инопланетные гости могли бы понять, что на Земле по крайней мере в течение последних 3 млрд. лет существовали живые организмы и происходили различные биологические процессы. Неумолимое действие таких биологических процессов, как фотосинтез, в значительной степени определило нынешний химический состав атмосферы Земли. Фактически инопланетные гости могли бы сознательно выделить Землю по высокому содержанию кислорода в ее атмосфере, поскольку общеизвестно, что большое количество кислорода в атмосфере планеты может возникнуть *только* в результате непосредственной биологической активности. Поэтому богатое содержание кислорода в атмосфере планеты, по-видимому, может служить несомненным признаком жизни.

Если бы инопланетные гости решили посадить космический аппарат на Землю, они вскоре обнаружили бы вторую важную особенность нашей планеты, коренным образом отличающую ее от любой соседней планеты,—на Земле много влаги. Очень много. Примерно



**Рис. 28. Наша планета**

*Космонавты часто говорят, что Земля – самый прекрасный и привлекательный объект, который можно только видеть на небе. Наша бело-голубая планета – наибольшая среди внутренних планет Солнечной системы. (НАСА.)*



**Рис. 29. Структура земной атмосферы**

Атмосферное давление над поверхностью Земли неуклонно падает с высотой (шкала справа). В отличие от давления температура воздуха меняется с высотой сложным образом. Как показано на диаграмме, в земной атмосфере выделяются четыре различные области.

71% земной поверхности покрыто водой. В самом деле, инопланетные гости могли бы послать своим согражданам тысячи фотографий типа той, что приведена на рис. 30. Такие виды было бы правильно рекламировать как типичные, «наобум» выбранные изображения Земли крупным планом. Венера и Марс, напротив, имеют крайне сухие поверхности. На Земле нет



**Рис. 30. Снимок поверхности Земли крупным планом**

*Более  $\frac{2}{3}$  поверхности Земли покрыто водой. На Меркурии, Венере и Марсе, напротив, фактически нет воды. (Фотография любезно предоставлена Л. Эриксоном.)*

таких сухих мест, как поверхности Венеры и Марса. По венерианским и марсианским стандартам пустыня Сахара — просто болото.

Хотя более 2/3 поверхности нашей планеты покрыто океанами, Земля в основном состоит из твердых пород. Породы, которые находятся у нас под ногами, представляют собой типичные образцы внешнего слоя Земли, или *коры*. Все эти породы в зависимости от процессов их образования можно разделить на три класса.

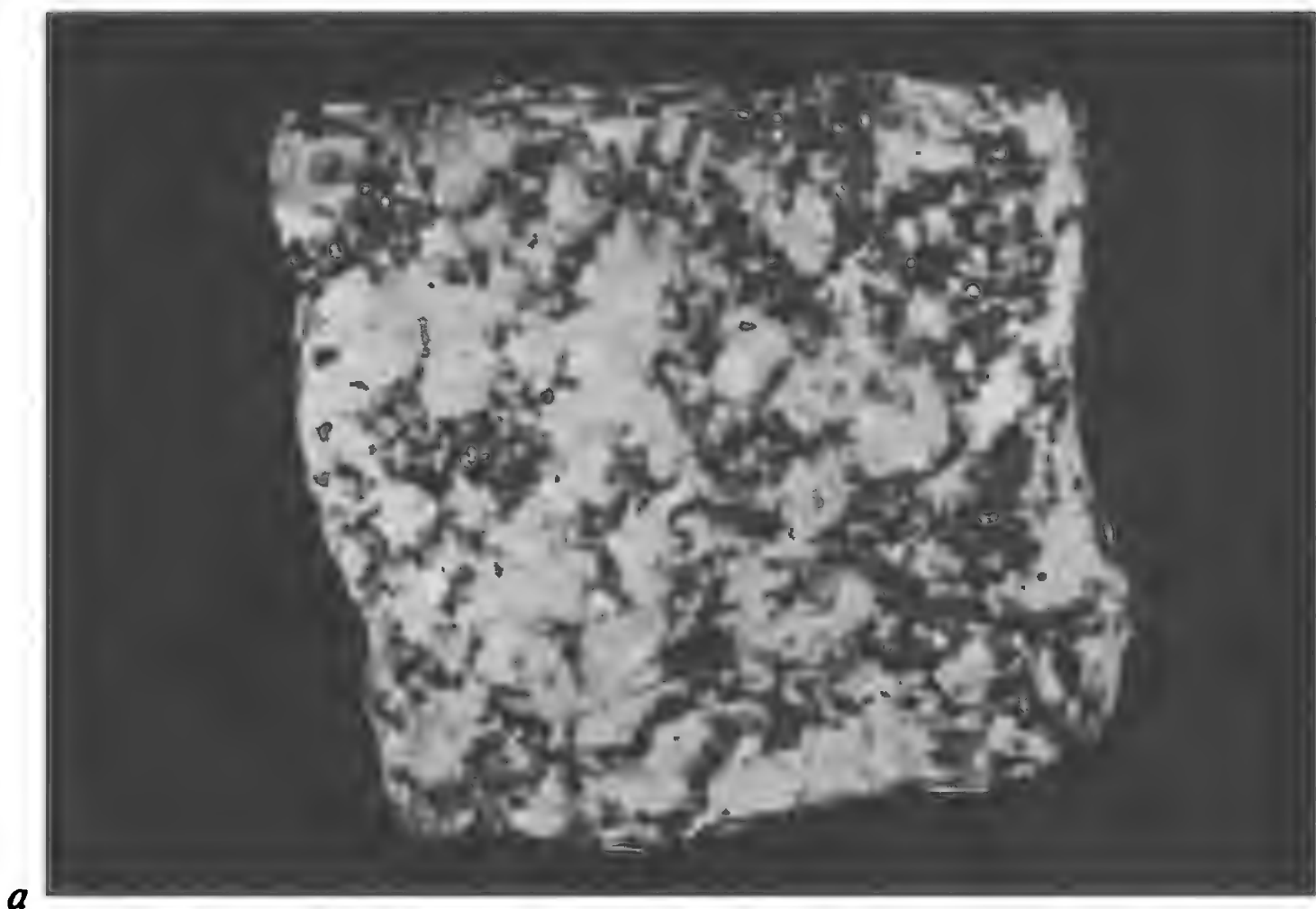
*Изверженные, или магматические*, — породы, остывшие из расплавленного состояния. Образование магматических пород можно наблюдать, когда лава стекает по склонам вулкана. Коренная подстилающая порода под континентами и океанами — магматическая. Примерно две трети всех пород, слагающих земную кору, — магматические. К числу обычных магматических пород относится гранит (рис. 31, а).

*Осадочные* — породы, которые сформировались или отложились под действием ветра, воды или льда. Некоторые осадочные породы образовались при сцементировании отдельных мелких частичек пород. Хорошим примером служит песчаник (рис. 31, б). Другие осадочные породы могут формироваться, когда вещество, ранее растворенное в воде, осаждается на дно озера или океана. К числу хорошо знакомых нам осадочных пород, образовавшихся таким образом, относятся известняк и мел.

Когда магматическая или осадочная порода подвергается действию высоких давлений и температур в недрах Земли, она изменяется, т.е. претерпевает метаморфозу. Образующаяся при этом порода называется *метаморфической*. Например, известняк при нагревании и сжатии становится мрамором (рис. 31, в). Это хорошо известная метаморфическая порода.

Очевидно, что породы, встречающиеся в земной коре, не могут характеризовать состав планеты в целом. Зная массу и размеры Земли, нетрудно вычислить среднюю плотность планеты; она составляет 5,5 г/см<sup>3</sup>. Но средняя плотность типичной породы коры составляет





**Рис. 31,а. Магматическая порода**

*Магматические породы — это породы, образовавшиеся из расплавленного состояния. Гранит, образец которого показан на этом рисунке, — общеизвестная крупнозернистая магматическая порода. (Научно-исследовательская организация Уорда.)*

**Рис. 31,б. Осадочная порода**

*Осадочные породы образуются либо при цементировании мелких частиц породы (как, например, песчаник, показанный на этом рисунке), либо в результате выпадения осадков из раствора в воде (таков, в частности, известняк). (Научно-исследовательская организация Уорда.)*

**Рис. 31,в. Метаморфическая порода**

*Метаморфические породы — это породы, которые претерпели значительные изменения под действием высоких давлений и температуры, существующих под поверхностью Земли. Например, известняк при нагревании и сжатии превращается в мрамор, образец которого показан на этом рисунке. (Научно-исследовательская организация Уорда.)*



6



6

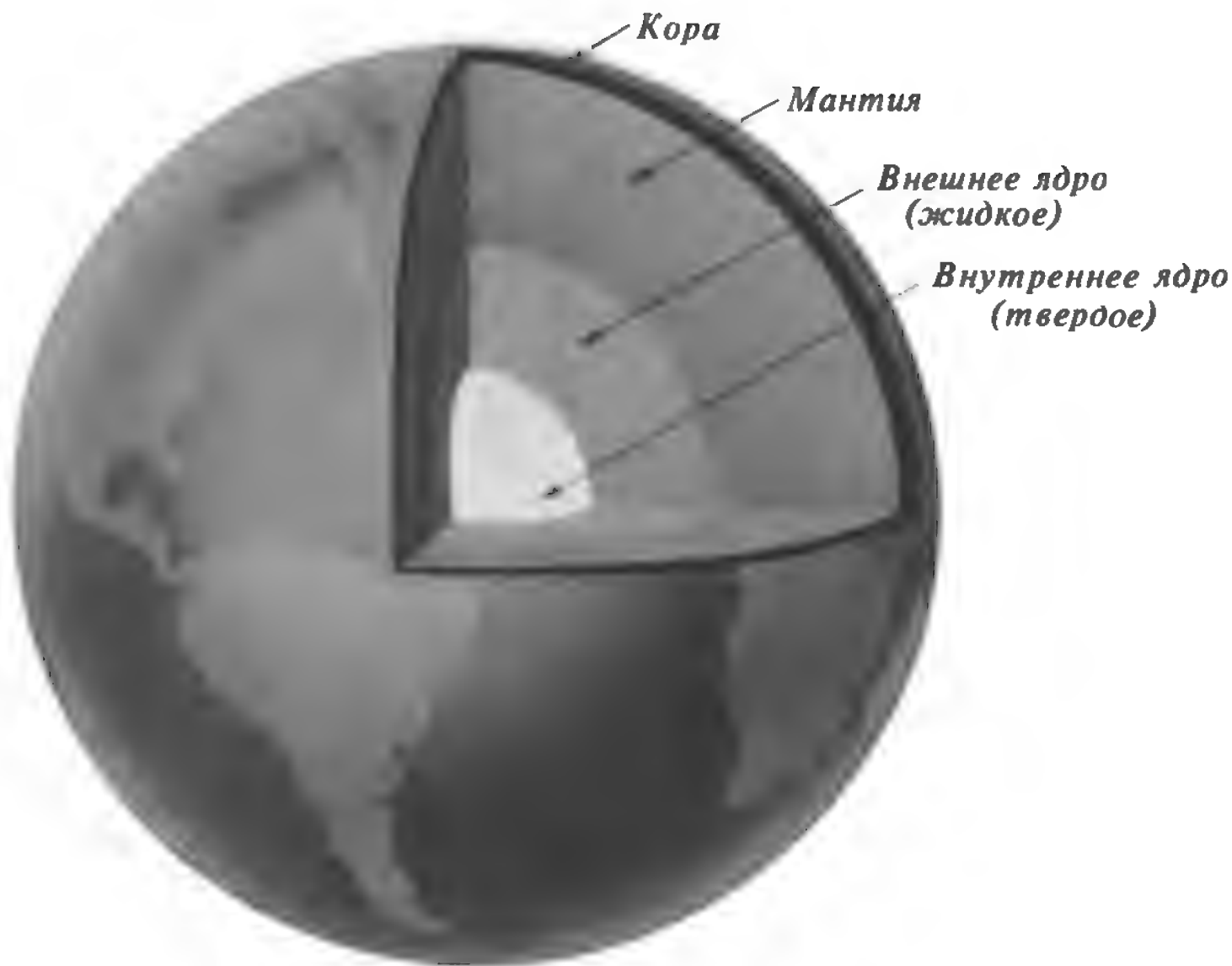
только  $2,5 \text{ г/см}^3$ . Это означает, что недра Земли должны состоять из очень плотного вещества. Из всех тяжелых элементов во Вселенной обильнее всего представлено железо. Отсюда можно заключить, что у Земли, как и у Меркурия и Венеры, должно быть железное ядро.

Во многих отношениях земные недра так же скрыты и отдалены от нас, как наиболее далекие галактики и квазары во Вселенной. Даже самые глубокие скважины и шахты только «царапают» земную поверхность. Вещество со дна океанских желобов или лава, изливающаяся из вулкана, весьма похожи на породы, слагающие кору. Но нам еще никогда не удавалось извлечь вещество из глубоких недр Земли. О структуре недр нашей планеты мы можем лишь строить предположения или судить по косвенным данным.

Наиболее важные сведения о природе земных недр дают землетрясения. Время от времени и почти всегда неожиданно колоссальные напряжения, накапливающиеся в коре планеты, приводят к сильным колебаниям земной поверхности. Образующиеся при этом сейсмические волны, распространяясь в недрах планеты, преломляются в веществе, через которое они проходят. Изучая на сейсмических станциях всего мира волны, распространяющиеся при землетрясениях, и обобщая полученные данные, можно вывести некоторые важные характеристики земных недр.

Анализ сейсмических волн, порождаемых землетрясениями, показал, что недра Земли можно разделить на три основные области: кору, мантию и ядро. *Кора*, состав которой нам хорошо известен, очень тонка. Тоньше всего она на дне океанов — в некоторых местах ее толщина там не превышает 5 км. На континентах толщина коры обычно составляет около 35 км. Кое-где под горными массивами кора может простираться до глубины 70 км.

Непосредственно под земной корой расположен толстый слой, называемый *мантией*. Мантия состоит из обогащенных железом магматических пород и простирается до глубины 2900 км. Как показано на рис. 32, мантия заключена между корой и ядром. Железное яд-



**Рис. 32. Строение земных недр**

*Земные недра состоят из трех основных частей: тонкой коры, мантии и ядра. Железное ядро делится на внутреннее твердое ядро и окружающее его внешнее жидкое ядро. Много важных сведений о строении земных недр получают на основе изучения сейсмических волн, возникающих при землетрясениях.*

ро Земли составляет в поперечнике 7940 км. Хотя это более половины диаметра планеты, ядро занимает только  $\frac{1}{5}$  полного объема Земли.

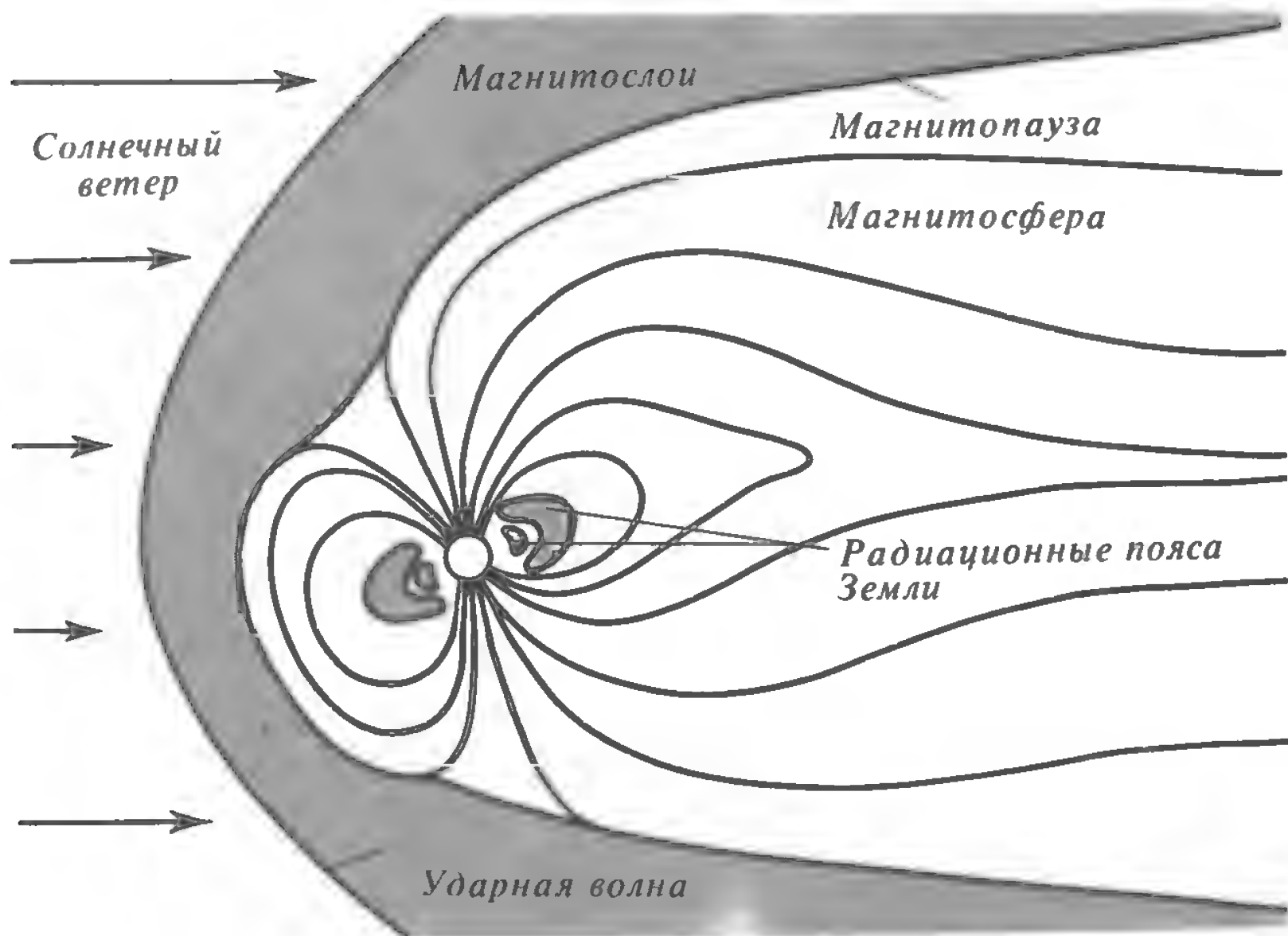
Тщательный анализ сейсмических волн, проходящих через планету, показывает, что на самом деле ядро Земли состоит из двух частей: жидкого внешнего слоя и заключенной внутри него твердой центральной области, как показано на рис. 32. Толщина внешнего жидкого слоя составляет 2220 км, а диаметр внутреннего твердого ядра равен 2510 км.

Это, казалось бы, странное положение, когда жидкий

слой находится между твердым внутренним ядром и твердой мантией, обусловлено температурами и давлениями в глубине планеты. Предполагается, что температура в центре Земли достигает приблизительно  $4200^{\circ}\text{C}$ . В обычных условиях такая температура более чем достаточна, чтобы расплавилось почти любое вещество. Однако давление в центре Земли столь велико (свыше 3,5 млн. атм), что препятствует расплавлению пород. И это гигантское давление в центре Земли, несмотря на высокую температуру, обеспечивает твердое состояние внутреннего ядра. Достаточно высокое давление и весьма низкая температура в мантии приводят к тому, что породы там не плавятся. В жидком слое ядра условия обратные. В этой области высокие температуры по своему воздействию на вещество превосходят высокие давления, и порода оказывается в жидком состоянии.

Предполагается, что жидкая часть ядра Земли ответственна за магнитное поле планеты. Подобно гигантскому генератору, электрические токи, текущие в жидком ядре, создают глобальное магнитное поле. Оно простирается на десятки тысяч километров в космическое пространство, эффективно взаимодействуя с *солнечным ветром*. Как упоминалось в гл. 1, Солнце постоянно испускает заряженные частицы (в основном протоны и электроны), которые движутся с большими скоростями. Это явление и называется *солнечным ветром*. Когда солнечный ветер со сверхзвуковой скоростью налетает на внешние области магнитного поля Земли, образуется ударная волна, так как скорость протонов и электронов резко снижается до дозвуковой. За фронтом ударной волны расположена магнитопауза, где давление солнечного ветра точно уравнивается магнитным давлением геомагнитного поля. Область, расположенная в пределах магнитопаузы, и есть истинная область магнитного поля Земли.

Из-за постоянного «обдувания» солнечным ветром вся магнитосфера Земли изгибается в сторону от Солнца. Поэтому, как видно на рис. 33, общий вид магнитосферы напоминает гигантскую комету. Большинство частиц, составляющих солнечный ветер, просто обтекает магнитосферу в турбулентной области между фрон-



**Рис. 33. Магнитосфера Земли**

*Воздействие магнитного поля Земли простирается на десятки тысяч километров в космическое пространство. Там, где частицы, составляющие солнечный ветер, двигаясь со сверхзвуковой скоростью, наталкиваются на внешнюю часть магнитосферы, образуется ударная волна. Некоторые из этих частиц проникают через магнитопаузу и захватываются в радиационных поясах Земли. (Рисунок заимствован из работы ван Аллена.)*

том ударной волны и магнитопаузой. Но немало частиц проходит через магнитопаузу и захватывается одним из двух гигантских тороидальных радиационных поясов, окружающих нашу планету. Внутренний пояс, начинающийся на высоте 2000 км над поверхностью Земли, состоит в основном из электронов. Внешний пояс, расположенный приблизительно на высоте 16 000 км над Землей, содержит главным образом протоны.

Время от времени в результате мощных процессов, происходящих на поверхности Солнца (например, солнечных вспышек), образуется необычно много частиц, движущихся с высокими скоростями. Когда порывы солнечного ветра достигают Земли, радиационные пояса оказываются уже не в состоянии удержать эти высокоэнергетические частицы, и последние прорываются в верхнюю атмосферу Земли. Тогда-то и вспыхивают мерцающие сполохи полярных сияний. Помимо полярных сияний (часто называемых северными или южными полярными сияниями) приток космических частиц часто вызывает нарушения радиосвязи. Таким образом, верхние области земной атмосферы тесно связаны с внешними областями солнечной атмосферы посредством сложного взаимодействия магнитных полей и заряженных частиц.

60-е годы нашего столетия ознаменовались многими потрясающими открытиями, касающимися нашей планеты. Каждый новый спутник передавал важные сведения о магнитосфере Земли, которые способствовали пониманию ее исключительной природы и позволяли оценить ее протяженность. В самом деле, в 50-е годы картина, представленная на рис. 33, казалась бы совершенно неправдоподобной. Но земное магнитное поле не только оказывает свое воздействие на космическое пространство — его существование послужило очень веским аргументом в пользу весьма спорной теории, касающейся земной коры. В 1966 г. геологи и геофизики начали понимать, что континенты в действительности движутся по поверхности Земли.

Лава, низвергающаяся из вулкана, часто оказывается обогащенной минералами, содержащими железо. Когда расплавленная порода остывает и затвердевает, атомы железа подобно крошечным компасам остаются навсегда ориентированными в направлении общего магнитного поля Земли. Затвердевшая лава в незначительной степени намагничена, и этот «реликтовый магнетизм» пород являет собой навечно сохранившуюся запись магнитного поля Земли того времени, когда образовалась порода.

Изучая реликтовую намагниченность пород, геологи





**Рис. 34. Дно Атлантического океана (северная часть)**

*Громадная горная цепь, называемая Срединно-Атлантическим хребтом, тянется по всей длине Атлантического океана. Расплавленная порода поднимается вверх в многочисленных подводных вулканах, расположенных вдоль середины всего хребта. (Любезно предоставлено Национальным географическим обществом, 1968.)*

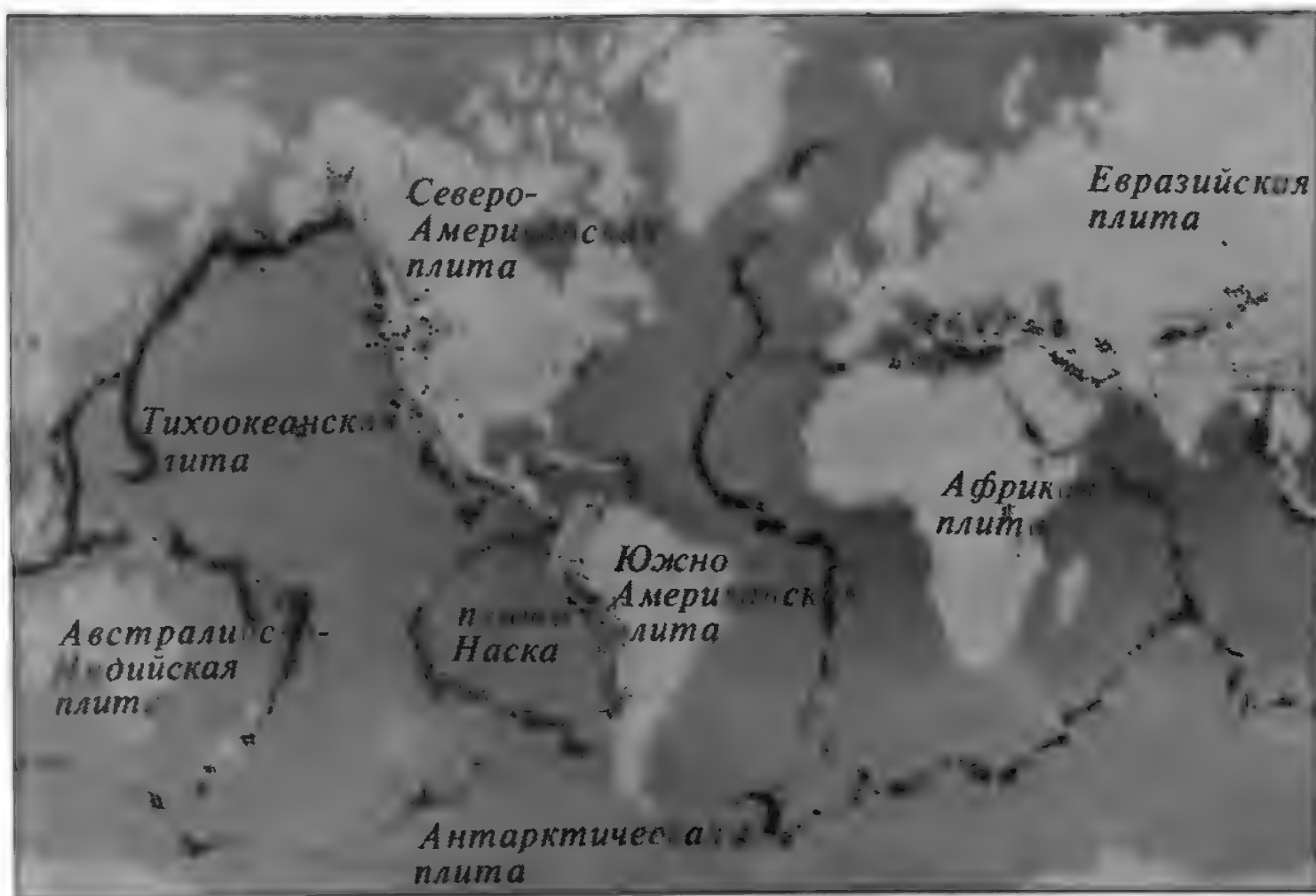
прежде всего обнаружили, что магнитное поле Земли время от времени обращается. По каким-то плохо понятным причинам северный и южный магнитные полюса нашей планеты меняются местами. Это происходит с частотой порядка одного раза в миллион лет. Электрические токи и линии магнитного поля в жидком зем-





**Рис. 35. «Подгонка» континентов**

*Африку, Европу, Гренландию, а также Северную и Южную Америку удастся «подогнать» друг к другу так, будто когда-то они были соединены вместе. Эта «подгонка» выглядит особенно убедительно, если ориентироваться не по современной береговой линии, а по краям континентальных шельфов. (Рисунок заимствован из работы Харлея.)*



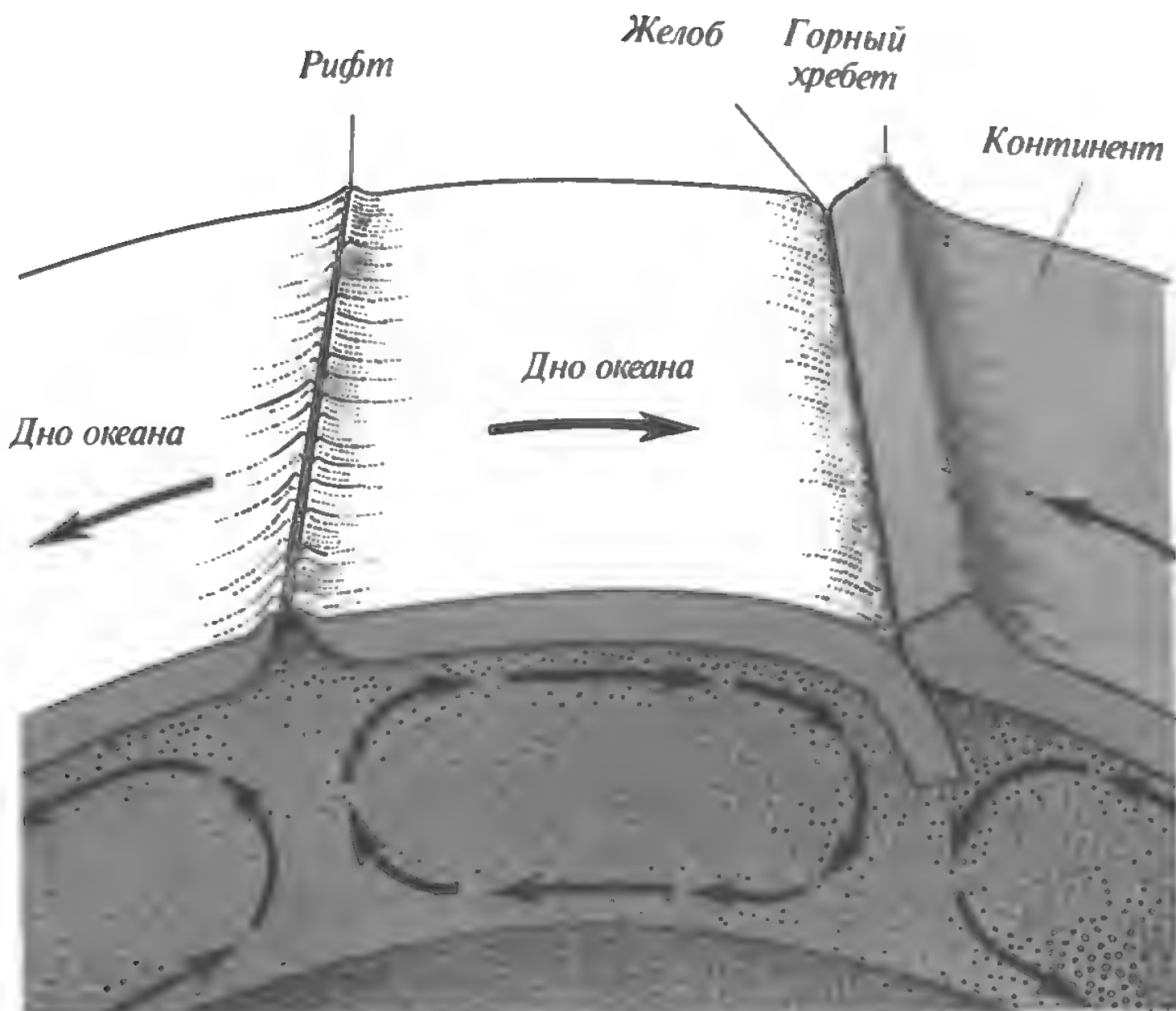
**Рис. 36. Большие плиты**

*Границы больших плит представляют собой области сильнейшей геологической активности. Когда плиты разделяются или сталкиваются, происходят землетрясения. Поэтому границы плит легко обнаружить, нанеся на карту области землетрясений (каждая точка — эпицентр).*

ном ядре так сильно перепутываются, что магнитное поле целиком переворачивается.

Это удивительное открытие обращений геомагнитного поля позволило объяснить данные о структуре дна Атлантического океана. Как показано на рис. 34, по всей длине Атлантического океана (от Исландии — на севере — до Антарктиды — на юге) тянется громадная горная цепь. Дно океана состоит в основном из обогащенной железом магматической породы. Изучая реликтовую намагниченность этой породы, можно установить направление земного магнитного поля в период образования данной породы.

Когда были собраны данные о восточном и западном склонах Срединно-Атлантического хребта, начала

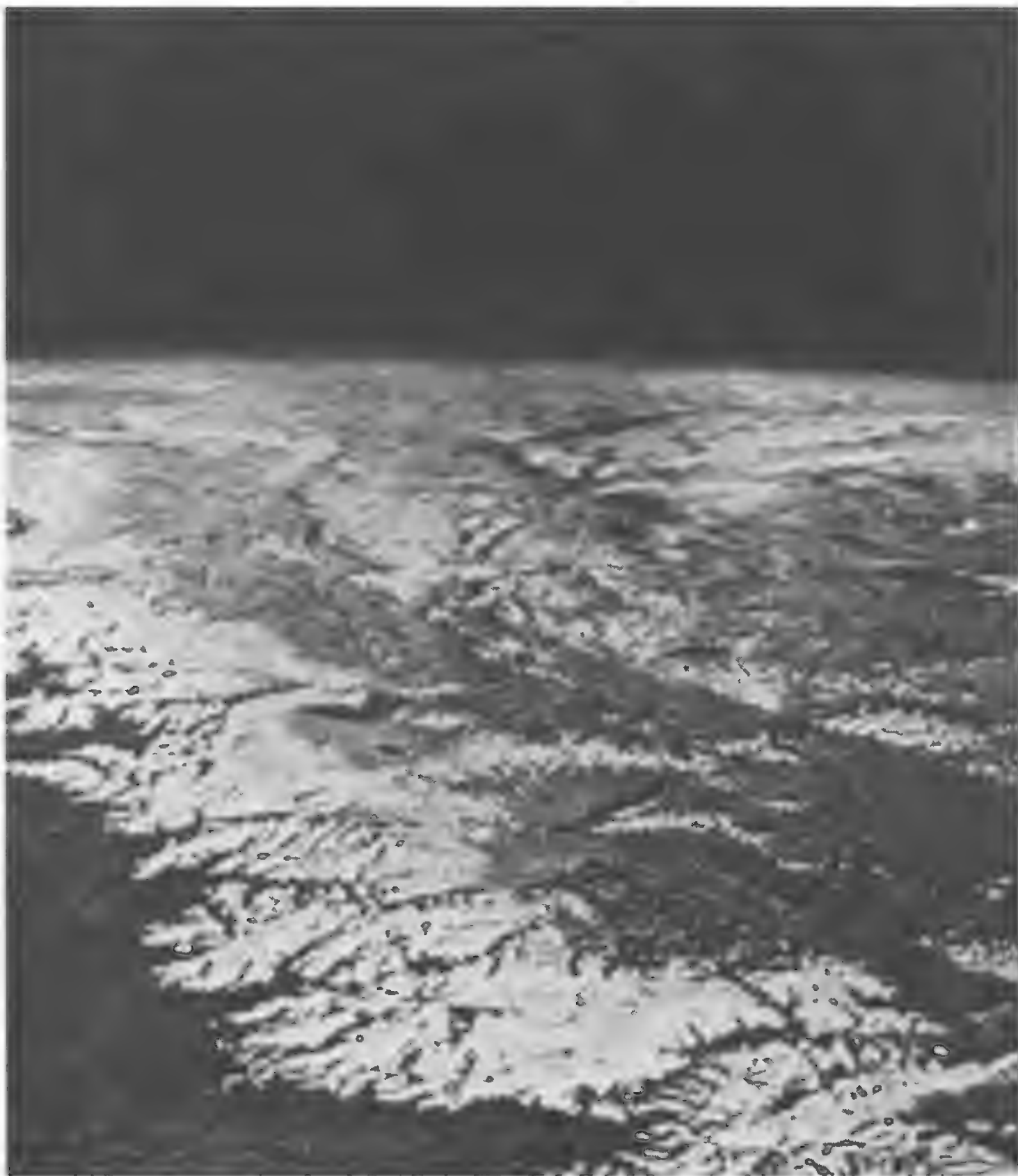


**Рис. 37. Механизм тектоники плит**

*Конвективные течения в пластичном верхнем слое мантии (называемом астеносферой) вызывают на движение жестких плит на кору (литосферу). Новая кора образуется в рифтах, где лава поднимается между отделяющимися плитами. Там, где плиты сталкиваются, образуются горные цепи и глубоководные океанские желоба.*

вырисовываться удивительная картина. Дно океана в настоящее время расширяется. Когда из подводных вулканов извергается лава и образует новую кору, старая кора на обоих склонах хребта отодвигается. Восточная часть дна Атлантического океана движется к востоку, а западная часть — к западу. Скорость разделения составляет примерно 1–10 см в год.

В 1910 г. Альфред Л. Вегенер высказал предположение, что в далеком прошлом все континенты были



**Рис. 38. Столкновение двух плит**

*Плиты, которые несут на себе Индию и Китай, сталкиваются. В результате этого столкновения в свое время возникли Гималаи (были вытолкнуты вверх). На снимке Индия находится внизу слева, а Китай — справа от гор, покрытых снегом. (НАСА.)*

собраны вместе, образуя суперконтинент, называемый *Пангеей*. (Подобное предположение было вызвано следующим обстоятельством: разрезав современную карту мира, на самом деле можно подогнать континенты друг к другу так, как показано на рис. 35.) Затем около 200 млн. лет назад Пангея начала разделяться на два меньших суперконтинента: Лавразию и Гондвану. Лавразия в конце концов распалась на Северную Америку, Гренландию и большую часть Евразии. Гондвана разделилась на Южную Америку, Африку, Антарктиду и Австралию.

Вегенер пытался подкрепить свою идею «дрейфа континентов» геологическими и палеонтологическими данными (например, указывая, что в Южной Америке и Африке имеются одни и те же ископаемые, как будто эти два материка когда-то в прошлом составляли единое целое), однако его соображения были встречены насмешками. Казалось совершенно непостижимым, чтобы гигантские континенты могли блуждать по планете.

Сегодня теория дрейфа континентов получает все больше подтверждений. В самом деле, теперь мы знаем, что континенты представляют собой самые верхние части громадных плит, окаймляющих земной шар. Установить границы плит легче, чем можно было бы ожидать,—это участки, в которых проявляется сильнейшая геологическая активность. Извержения вулканов и землетрясения происходят там, где плиты разделяются. В этих местах лава поднимается из недр Земли и образует новую кору. При столкновении плит «выталкиваются» высокие горные хребты, и этот процесс сопровождается сильными землетрясениями и извержениями вулканов. В таких местах старая кора погружается обратно в недра Земли. Поэтому границы плит легко обнаружить, просто нанеся эпицентры землетрясений на карту, как показано на рис. 36. Механизм движения плит схематически показан на рис. 37.

Тектоника плит—это основной процесс, который доминирует в земной коре. В значительной степени облик Земли является непосредственным результатом движения плит. Например, плита, на которой сегодня лежит Индия, с силой сталкивается с плитой, на которой



**Рис. 39. Разделение плит**

*Плиты, несущие на себе Египет и Саудовскую Аравию, разделяются. В результате этого процесса образовалось Красное море. На снимке Саудовская Аравия расположена слева, а Египет (и Нил) — справа. (НАСА.)*

ныне расположен Китай. При ударе «вздыбилась» цепь молодых гор – Гималаи (рис. 38). В качестве другого примера можно привести плиты, несущие на себе Египет и Саудовскую Аравию, которые раздвигаются. Образовавшаяся при этом расселина заполнилась водой и теперь называется Красным морем (рис. 39).

Наша планета активна и динамична. Земля изменялась и развивалась с тех пор, как она образовалась из первичной солнечной туманности 4,5 млрд. лет назад. И до сих пор она не обнаруживает никаких признаков успокоения: словно планета, населенная живыми существами, сама живая.

---

## НАША БЕСПЛОДНАЯ ЛУНА

Вокруг семи планет Солнечной системы обращается 35 спутников<sup>1</sup>. Только у Меркурия и Венеры нет естественных спутников. Земля — ближайшая к Солнцу планета, имеющая спутник.

Уже при беглом взгляде на эти спутники становится ясно, что их легко можно разделить на две группы. Как видно из рис. 40, семь из них можно назвать «гигантскими лунами». Их диаметры заключены в пределах 3000–6000 км, т. е. по величине эти спутники сравнимы с планетой Меркурий. Все остальные спутники, напротив, совсем крошечные — обычно меньше 1000 км в поперечнике. Диаметры многих из них составляют всего несколько десятков километров. Астрономы иногда даже называют их «летающими горами».

Интересно заметить, что шесть из семи «гигантских лун» принадлежат трем крупнейшим планетам: Юпитеру, Сатурну и Нептуну. Эти три планеты настолько громадны, что по сравнению с ними даже самые большие их спутники кажутся крошечными. Характерно, что массы этих шести лун обычно *меньше* 0,001 массы планеты, вокруг которой они обращаются.

Седьмая «гигантская луна» обращается вокруг Земли, которая принадлежит к числу самых малых планет в Солнечной системе. Поэтому Земля и ее спутник — Луна

---

<sup>1</sup> В настоящее время общее число известных спутников планет достигает 41. По-видимому, на самом деле их количество несколько больше, поскольку в системах внешних планет имеются пока еще неизвестные объекты. — *Прим. ред.*





**Рис. 40. Семь «гигантских лун»**

*Семь из известных спутников Солнечной системы велики по своим размерам. Как видно из рисунка, все эти спутники по величине сравнимы с планетой Меркурий. Остальные спутники, напротив, совсем маленькие.*

не очень сильно отличаются по размеру и массе. Действительно, Земля только в 81 раз массивнее Луны.

Это необычное явление, так как большинство других спутников в Солнечной системе является просто карликами по сравнению с их родительскими планетами. Земля и Луна вполне сравнимы по своим размерам. Поэтому Землю и ее спутник, строго говоря, можно назвать *двойной планетой*.

Два мира, входящие в эту двойную планету, настолько отличаются друг от друга, насколько это только возможно. Земля имеет атмосферу, Луна — нет. Поверхность Земли в основном покрыта водой, Луна — букваль-



**Рис. 41. Двойная планета**

*Землю и Луну часто называют «двойной планетой», поскольку их размеры сравнимы. Большинство других спутников в Солнечной системе ничтожно малы по сравнению с планетами, вокруг которых они обращаются. Эта уникальная фотография была получена в 1977 г. космическим аппаратом «Вояджер-1» с расстояния около 12 млн. км. (НАСА.)*



**Рис. 42. Луна**

*На Луне обнаружены территории трех основных типов: плоские поверхности, кратеры и горные хребты. Фотография представляет собой мозаику из снимков Луны в первой и последней четвертях (удлиненные тени подчеркивают детали местности). (Ликская обсерватория.)*

но совершенно высохшая. Земля населена живыми существами, Луна абсолютно бесплодна. Земля геологически очень активна: вздымаются горы, извергаются вулканы, в различных местах планеты происходят землетрясения, когда тектонические плиты наталкиваются одна на другую.

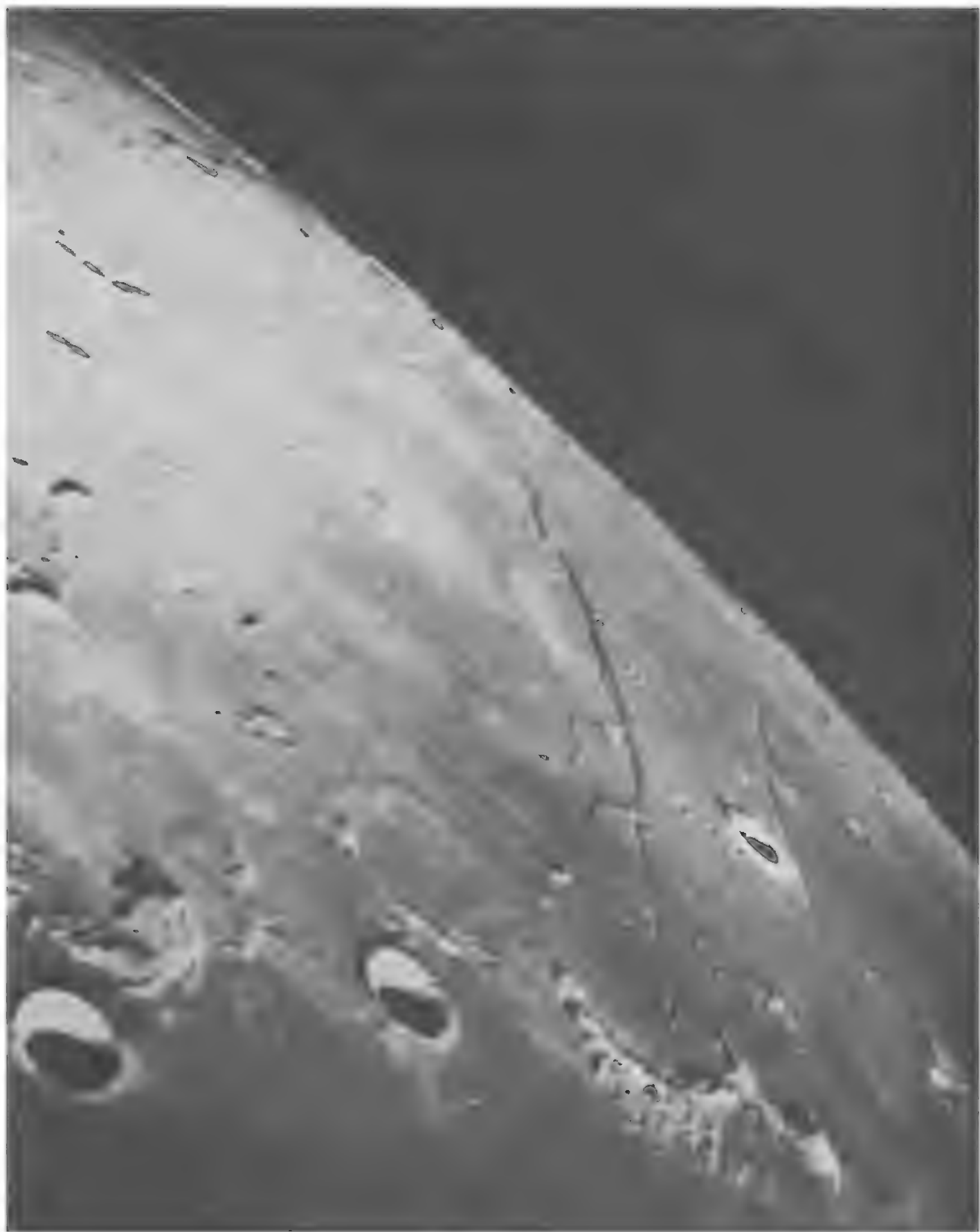
Луна же в течение более миллиарда лет не изменялась сколько-нибудь заметно. Не защищенную атмосферой поверхность Луны бомбардируют метеориты, которые разворачивают лунный грунт. И это все, что происходит на Луне.

Даже случайный взгляд через любительский телескоп показывает, что на Луне существуют три основных вида местности. Прежде всего, это большие равнинные области, называемые морями. (Этот неудачный термин остался с XVII в., когда астрономы считали, что на Луне много воды. Некоторые наблюдатели, одаренные сильным воображением, даже утверждали, что видели там корабли!)

На Луне четырнадцать обширных равнинных областей. Все они имеют причудливые латинские названия: Море Спокойствия (Mare Tranquillitatis), Море Облаков (Mare Nubium), Море Дождей (Mare Imbrium) и т. д. Часть Моря Спокойствия показана на рис. 43. Все равнинные области расположены на той стороне Луны, которая всегда обращена к Земле. На обратной, скрытой, стороне Луны вообще нет значительных равнинных площадей.

Самые обычные детали на Луне — это, конечно, кратеры. При наблюдении в телескоп с Земли астрономы обнаружили приблизительно 30 000 этих круглых лунок. Но даже самые совершенные наземные телескопы не позволяют увидеть лунные детали размером менее километра. Как и ожидалось, на крупномасштабных снимках, полученных во время космических полетов, были обнаружены сотни и тысячи кратеров поперечником всего порядка метра.

Наиболее крупные кратеры были названы именами выдающихся математиков, философов и других ученых. На рис. 44 показан кратер Коперник. Хорошо видны характерные кольцевые валы и центральная горка кра-



**Рис. 43. Поверхность Луны**

*На Луне обнаружено четырнадцать больших областей, имеющих плоскую поверхность. Они получили названия морей. Все моря расположены по той стороне Луны, которая всегда обращена к Земле. На обратной стороне Луны морей почти нет. На снимке, полученном космонавтами «Аполлона-8», показана часть Моря Спокойствия. (НАСА.)*



**Рис. 44. Лунный кратер**

*При помощи наземных телескопов на Луне обнаружено приблизительно 30 000 кратеров. Еще многие сотни тысяч этих образований сфотографированы космическими аппаратами. Эта фотография кратера Коперник была получена космонавтами «Аполлона-17». Диаметр кратера достигает 100 км. (НАСА.)*

тера. На обратной стороне Луны (где нет равнин) кратеров гораздо больше, чем на стороне, которую мы всегда видим с Земли.

Диаметры самых больших лунных кратеров достигают 240 км<sup>1</sup>. Это приблизительно равно протяженности штатов Коннектикут и Массачусетс вместе взятых. И чем с более близкого расстояния удастся рассматривать лунную поверхность, тем больше можно увидеть кратеров. Вероятно, на Луне существует более миллиона кратеров с диаметрами порядка метра и меньше. В самом деле, как видно из рис. 45, даже некоторые камни на Луне покрыты микроскопическими кратерами. Большие лунные кратеры образуются при столкновениях с метеоритами, такие же крошечные кратерочки возникают, когда частицы межпланетной пыли с огромной скоростью ударяются о лишенную атмосферы лунную поверхность.

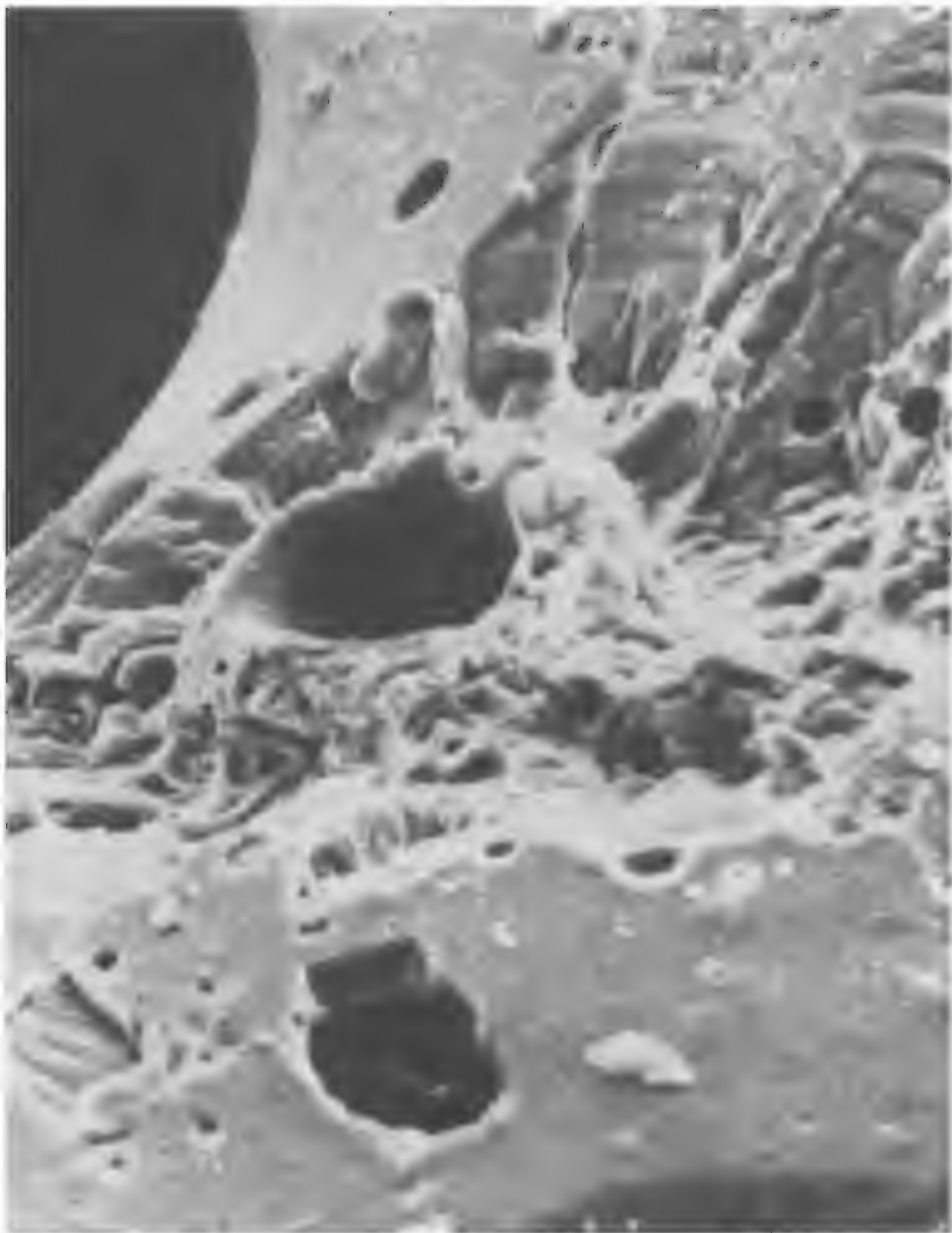
Кроме кратеров и морей на Луне есть также горные хребты. Самые большие лунные вершины поднимаются над окружающими равнинами до высоты 8 км. Для сравнения напомним, что высота Эвереста (Джомолунгмы) — 8848 м над уровнем моря.

Большинство лунных горных хребтов получили те же названия, что и хребты на Земле. Так, лунные Альпы, Кавказские горы и Карпаты — хорошо знакомые объекты для опытного наблюдателя Луны. На рис. 46 приведена фотография горы Хэдли у подножия Апеннин.

При внимательном рассмотрении лунной поверхности даже через наземный телескоп обнаруживается еще много других особенностей и интересных деталей. Там, например, есть долины, расщелины, трещины и борозды. Длинные светлые полосы, называемые лучами, расходятся от некоторых более молодых кратеров (особенно заметны они у кратеров Коперник и Тихо). В действительности эти лучи представляют собой длинные широкие цепочки небольших вторичных кратеров; они образовались, когда обломки пород с силой выбрасывались

---

<sup>1</sup> Более крупные кольцевые образования носят названия бассейнов. — Прим. ред.



**Рис. 45. Микроскопический кратер**

*Некоторые крупные камни на Луне покрыты мелкими кратерочками. Диаметр последних обычно меньше пол-миллиметра, и рассмотреть их детали можно только при помощи электронного микроскопа. Такие кратеры образовались в результате ударов о лунную поверхность частиц метеоритной пыли, движущихся с большими скоростями; при таких ударах поверхность камня мгновенно расплавляется. (НАСА.)*





**Рис. 46. Лунная гора**

*На Луне существует несколько горных хребтов. Некоторые лунные вершины достигают высоты Гималаев. Гора Хэдли, показанная на фотографии, полученной космонавтами «Аполлона-15», поднимается над окружающей поверхностью на высоту 3 км. (НАСА.)*

из первичного кратера. Все это – детали необитаемого бесплодного мира, единственным проявлением активности в котором служит случайная бомбардировка метеоритами, астероидами и кометной пылью.

Луна – наша ближайшая соседка в космическом пространстве. Но на расстоянии 384 000 км, разделяющем нас, невозможно увидеть детали размерами менее километра. И только развитие космических исследований открыло возможности для детального изучения лунной поверхности<sup>1</sup>.

Шестидесятые годы долго будут вспоминаться как десятилетие, ознаменовавшееся одним из величайших технических достижений человечества за всю историю его существования. После целой серии успешных исследований Луны с помощью автоматических станций 20 июля 1969 г. на лунную поверхность впервые ступила нога человека.

Первоначальной целью американской программы лунных исследований было получить хоть какую-нибудь информацию о Луне. Такова была программа «Рейнджер». Каждый космический аппарат серии «Рейнджер» был снабжен шестью телевизионными камерами, предназначенными для передачи снимков лунного ландшафта вплоть до того момента, когда аппарат разбивался при падении на поверхность Луны. Первые шесть запусков аппаратов «Рейнджер» закончились неудачно. Однако к 1964 г. неполадки были полностью устранены, и все люди нашей планеты получили возможность увидеть телевизионные «живые» изображения с Луны. В период с июля 1964

---

<sup>1</sup> Первый космический аппарат для изучения Луны и окололунного пространства был запущен в СССР (1959 г.). В последующем, согласно советской космической программе, впервые осуществлена мягкая посадка на лунную поверхность, создан искусственный спутник Луны; осуществлено возвращение на Землю космического аппарата со второй космической скоростью после облета Луны, на лунную поверхность доставлены самоходные аппараты, а на Землю – образцы лунного грунта. Из всех космических аппаратов, исследовавших Луну с различными программами полета, около половины (29 автоматических станций) запущено в СССР. – *Прим. ред.*



**Рис. 47. Кратер Альфонс**

*«Рейнджер-9», последний космический аппарат серии «Рейнджер», 24 марта 1965 г. упал в районе кратера Альфонс. Этот аппарат передал на Землю около 6000 снимков. Фотография справа была получена с высоты 415 км над лунной поверхностью (место падения отмечено крестиком). Слева приведена одна из наиболее высококачественных фотографий, полученных с Земли. (НАСА.)*



по март 1965 г. три аппарата «Рейнджер», устремившиеся к Луне, передали свыше 17000 фотографий лунной поверхности. Последние снимки были получены с высоты примерно 500 м, и на них видны камни и кратеры поперечником всего в 1 м. Как показывает рис. 47, эти фотографии по своему качеству намного превосходят все то, что когда-либо удавалось получить с Земли.

Следующий важный этап в американских исследованиях Луны был отмечен одновременным осуществлением двух программ: «Сервейер» и «Орбитер». С мая 1966 по январь 1968 г. пять космических аппаратов серии «Сервейер» успешно совершили мягкую посадку на лунную поверхность. Каждый из этих треногих аппаратов (рис. 48) был снабжен телевизионной камерой, манипулятором с ковшом и приборами для изучения лунного грунта<sup>1</sup>. Успешные посадки «Сервейеров» (некоторые специалисты прежде всего опасались, что аппаратам придется погружаться в трехметровый слой пыли<sup>2</sup>) создали уверенность в возможном осуществлении космической программы с использованием пилотируемых космических аппаратов.

В то время как пять «Сервейеров» были мягко посажены на лунную поверхность, пять аппаратов серии «Орбитер» были запущены на орбиты вокруг Луны с целью произвести обширную фотосъемку. Все пять запусков «Орбитеров» были успешно осуществлены в течение года — с августа 1966 по август 1967 г. Они передали на Землю в общей сложности 1950 прекрасных крупномасштабных фотографий, охвативших всю видимую с Земли сторону Луны и 99,5% обратной стороны. Тогда ученые впервые узнали, что на обратной стороне Луны нет морей<sup>3</sup>. Оказалось, что там огромное количество кратеров (рис. 49).

Полеты «Сервейеров» показали, что космические аппараты могут благополучно сесть на лунную поверхность. А фотографии, полученные «Орбiteraми», помогли ученым выбрать место посадки для первого пилотируемого

---

<sup>1</sup> Манипулятором с ковшом были оснащены аппараты «Сервейер-3» и «Сервейер-7», приборами для определения химического состава грунта — аппараты «Сервейер-5», «Сервейер-6» и «Сервейер-7». — *Прим. ред.*

<sup>2</sup> Впервые отсутствие значительного пылевого покрова было обнаружено советской автоматической станцией «Луна-9» в феврале 1966 г. — *Прим. ред.*

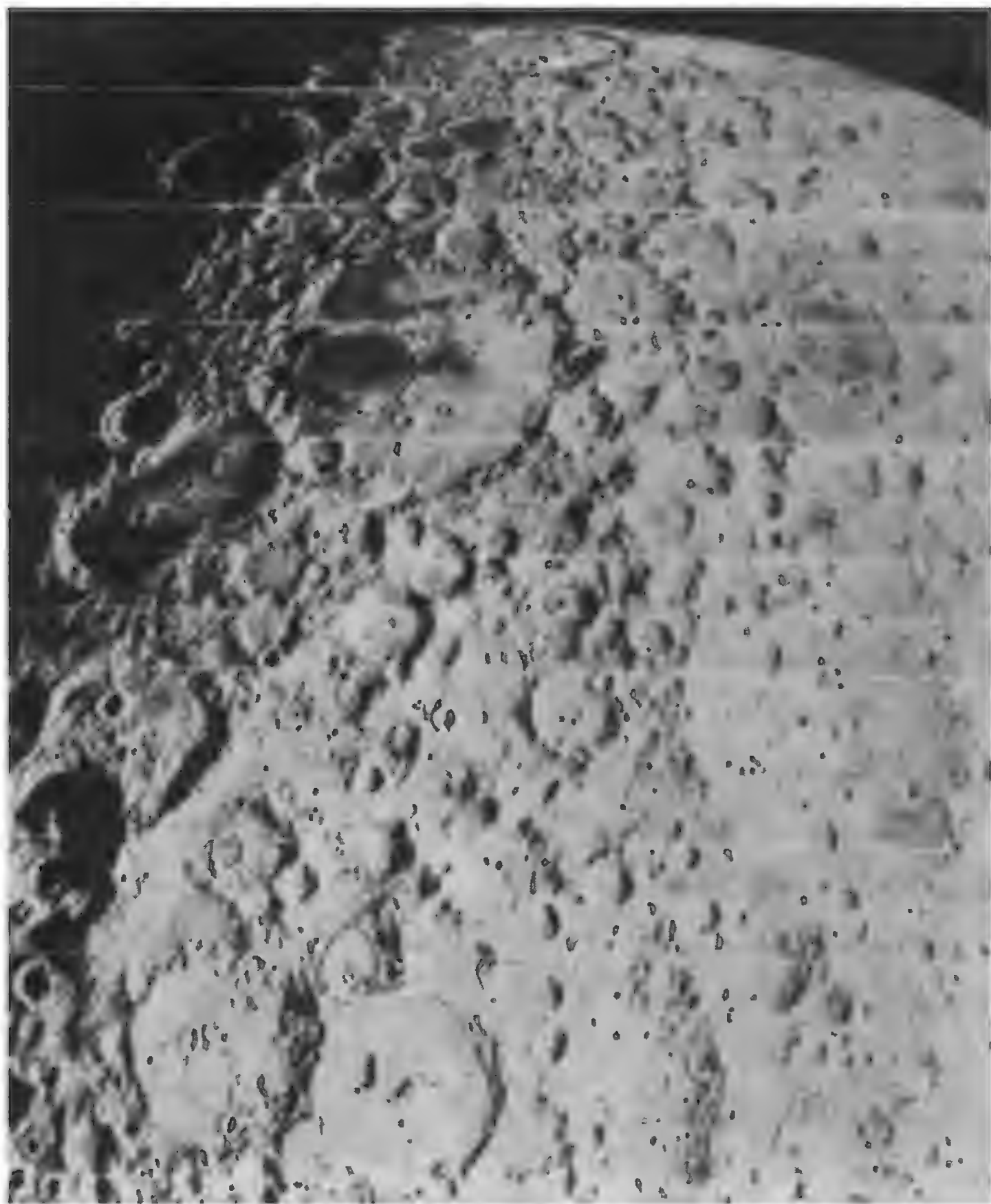
<sup>3</sup> Впервые об этом стало известно еще в октябре 1959 г., когда советская автоматическая межпланетная станция «Луна-3» получила первые фотографии обратного полушария Луны. — *Прим. ред.*



**Рис. 48. «Сервейер-3» и «Аполлон-12»**

*«Сервейер-3» успешно совершил мягкую посадку в районе Океана Бурь 8 февраля 1967 г. Как и четыре других успешно запущенных «Сервейера», этот космический аппарат исследовал лунный грунт и передавал фотографии на Землю. Через 2,5 года космонавты «Аполлона-12», опустившиеся на лунную поверхность в районе посадки «Сервейера-3», осмотрели аппарат. (НАСА.)*





**Рис. 49. Обратная сторона Луны, сфотографированная «Орбитером-2»**

*При помощи пяти космических аппаратов серии «Орбитер» были получены снимки, охватывающие почти всю поверхность Луны. На этих фотографиях можно различить объекты поперечником всего 10 м. Космические полеты показали, что на обратной стороне Луны нет других заметных образований, кроме кратеров. Эта фотография обратной стороны с большим количеством кратеров была получена с высоты 560 км над поверхностью Луны. (НАСА.)*

лунного аппарата. Так был проложен путь к осуществлению программы «Аполлон».

В период с декабря 1968 по декабрь 1972 г. на Луну совершили путешествия 24 человека (трое из них — дважды). Двенадцать из этих астронавтов в самом деле ходили по поверхности Луны. Программа «Аполлон» включала широкий круг геологических исследований, но основным ее достижением явилась доставка на Землю примерно 360 кг лунных пород.

Анализ образцов, доставленных экспедициями «Аполлон», показал, что существует три типа лунных пород, в каждом из которых скрыта важная информация о природе и эволюции Луны. Прежде всего, это *анортозитовая порода* (см. рис. 50,а) — вид породы, наиболее распространенный по всей Луне. Она характеризуется высоким содержанием полевого шпата. Второй важный тип лунных пород — «*криповые*» нориты (KREEP). Они названы так из-за высокого содержания в них калия (K), редкоземельных элементов (REE) и фосфора (P). Криповые нориты (рис. 50,б) обычно встречаются в светлых горных районах Луны. Темные лунные моря покрыты *морскими базальтами* (рис. 50, в).

Анортозитовая порода представлена наиболее обильно: это самый древний тип пород, обнаруженных на Луне. Данные, полученные с помощью сейсмометров (оставленных космонавтами на поверхности Луны), а также результаты геохимических анализов, проведенных на расстоянии посредством приборов, установленных на спутниках, показывают, что кора Луны до глубины 60 км состоит преимущественно из анортозитовых пород. Среди трех основных лунных пород анортозит имеет самую высокую температуру плавления. Поэтому, когда первичная расплавленная поверхность Луны начала остывать, анортозитовая порода затвердела первой.

До осуществления программы «Аполлон» было три соперничающих теории происхождения Луны. Некоторые ученые полагали, что Луна в свое время могла быть просто захвачена Землей. Другие считали, что первичная Земля могла разделиться на две части (предполагалось, что Тихий океан — это «яма», оставшаяся после того, как Луна «вырвалась» из Земли). Но анализ лун-





**Рис. 50,а. Анортозит**

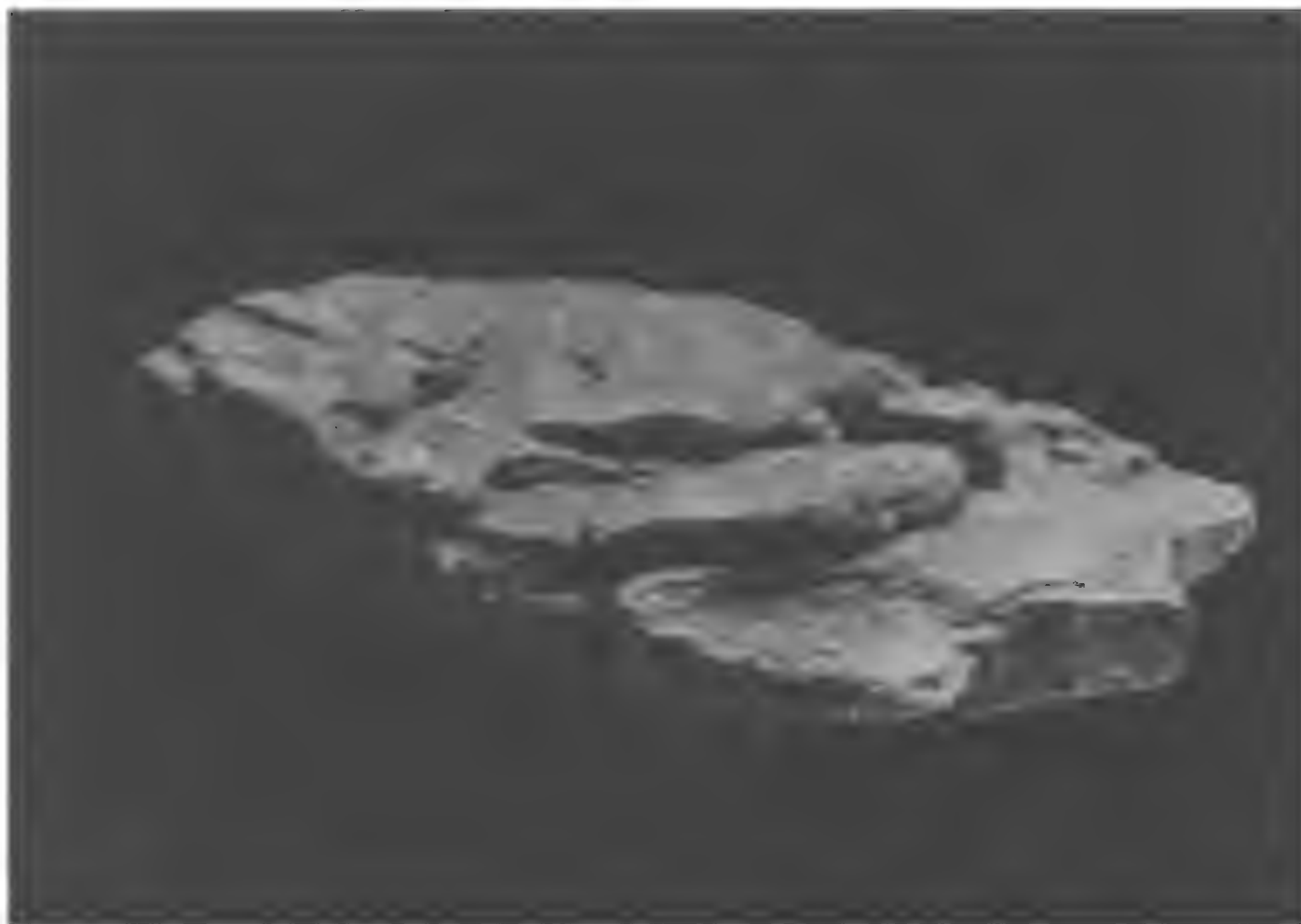
*Самая распространенная анортозитовая порода представляет собой наиболее древний тип пород среди найденных на Луне. Вся лунная кора до глубины 60 км преимущественно анортозитовая. (Национальный космический центр научных данных.)*

**Рис. 50,б. «Криповый» норит**

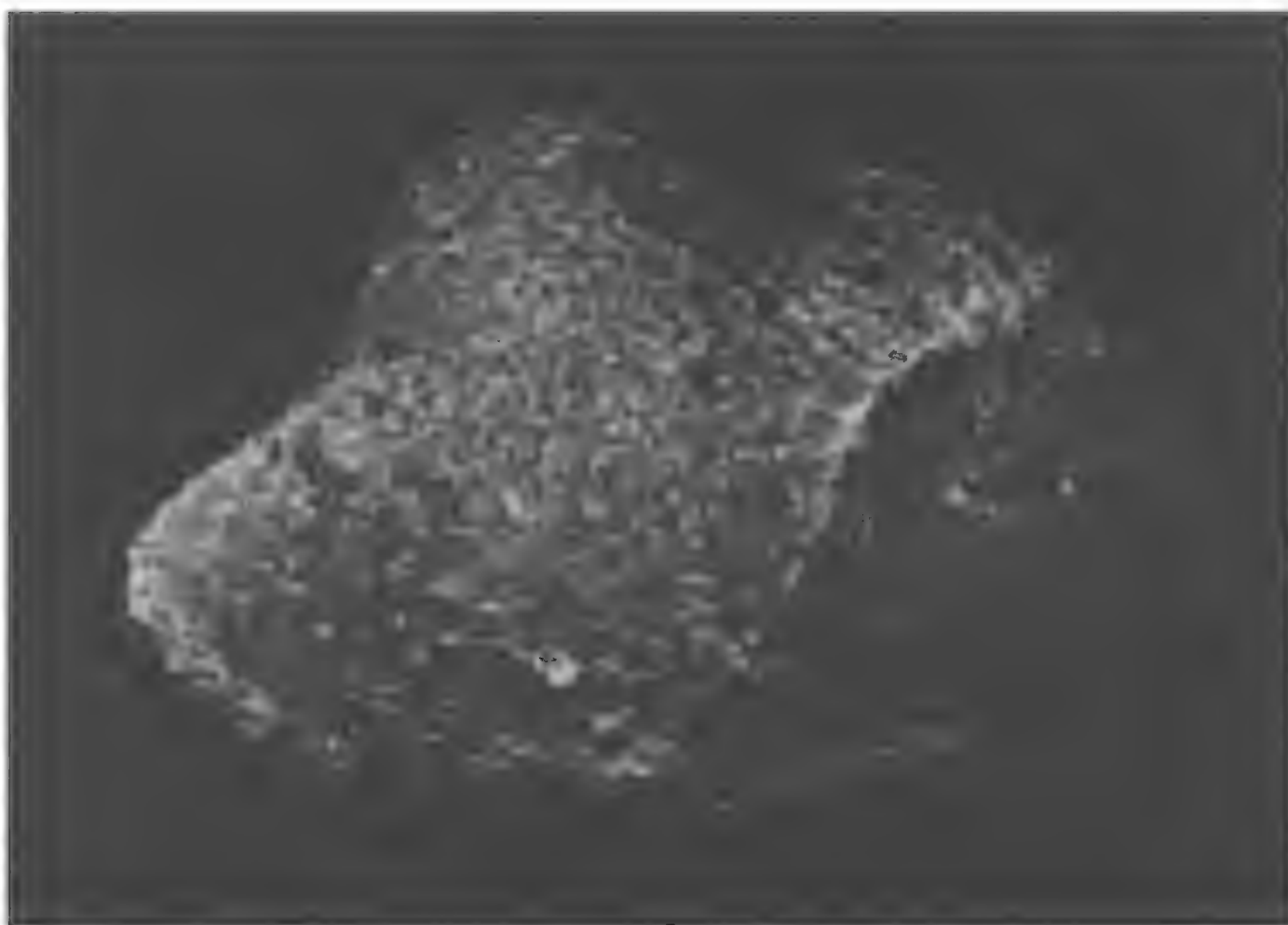
*«Криповый» норит (KREEP-нориты) – тип лунной породы, получивший свое название за высокое содержание калия (K), редкоземельных элементов (REE) и фосфора (P). Криповые нориты в основном обнаружены в горных районах Луны. (Национальный космический центр научных данных.)*

**Рис. 50,в. Морской базальт**

*Обширные темные поверхности, преобладающие на видимой стороне Луны, покрыты морским базальтом. Морские базальты относятся к наиболее молодым породам, найденным на Луне. (Национальный космический центр научных данных.)*



6



6

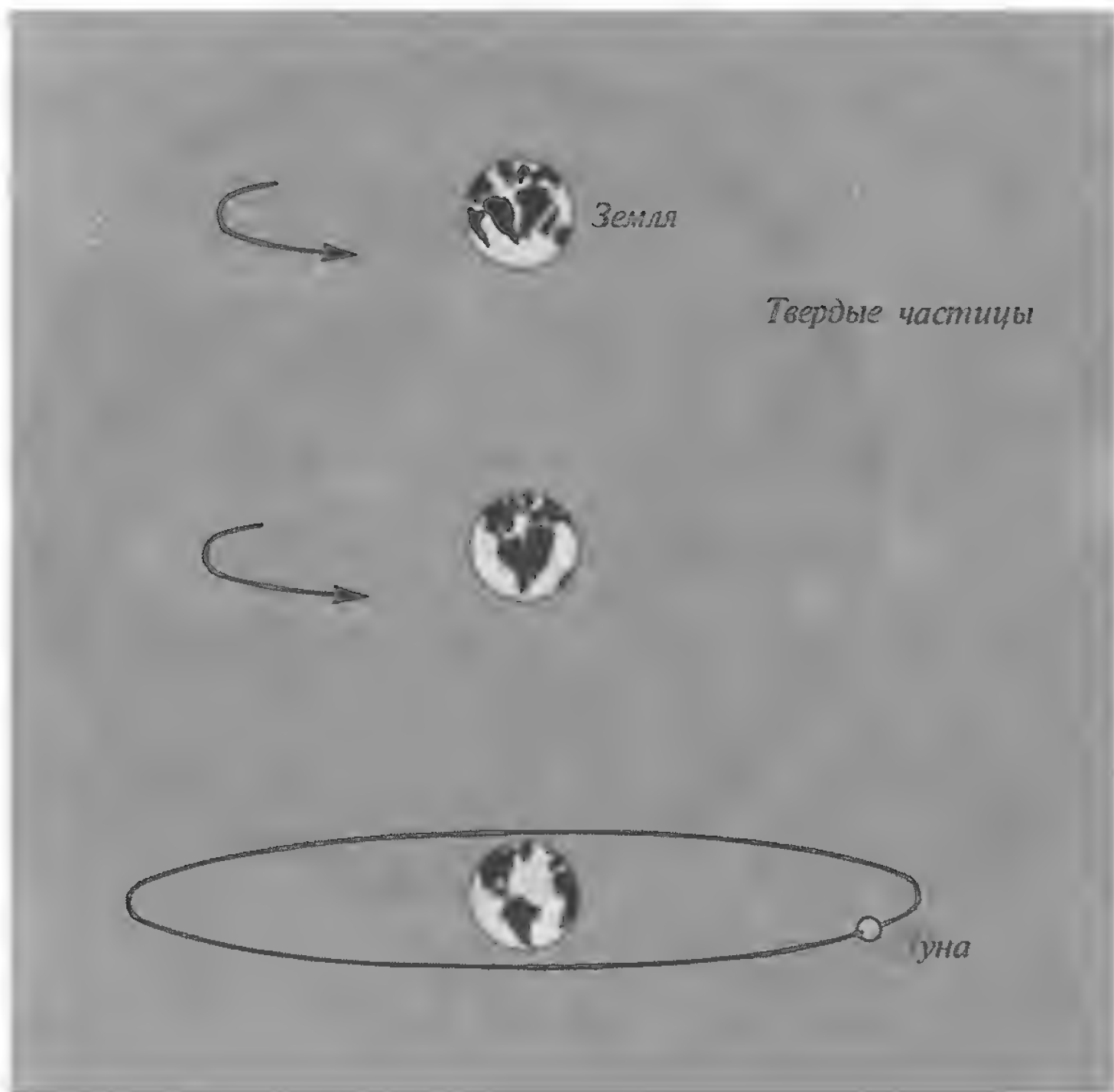
ных пород, по-видимому, свидетельствует в пользу третьего предположения о том, что Луна образовалась путем объединения крошечных камешков, обращающихся вокруг Земли 4,5 млрд. лет назад. Как показано на рис. 51, аккреция частиц под действием сил гравитации, действующих вблизи Земли, была в некотором роде уменьшенным вариантом процесса аккреции, происходившего в первичной солнечной туманности и приведшего к рождению планет.

«Рождение» Луны происходило весьма стремительно — возможно, всего за несколько тысяч лет. Когда миллионы и миллионы камней, обращающихся вокруг Земли, с силой ударялись о непрерывно увеличивающуюся в размерах Луну, ее поверхность должна была представлять собой море раскаленной добела лавы. Но как только большая часть камней была выметена Луной при ее движении вокруг Солнца, лунная поверхность могла начать остывать и затвердевать. Это было то самое время, 4,5 млрд. лет назад, когда стала образовываться лунная анортозитовая кора.

Температуры плавления как криповых норитов, так и морского базальта ниже, чем у анортозитовой породы. Поэтому существование этих двух более молодых типов лунного вещества должно указывать на важные события, происходившие на более поздней стадии эволюции Луны.

Криповые нориты характеризуются высоким содержанием элементов с достаточно высокой атомной массой. Из-за своих больших размеров эти атомы с трудом «включаются» в кристаллы, образующие анортозит. Другими словами, когда анортозитовая порода нагревается и *частично плавится*, эти атомы в основном «изгоняются» из основной породы. Поэтому естественно предположить, что криповые нориты образовались при частичном плавлении анортозитовой породы.

Криповые нориты встречаются в горных районах Луны. Пока еще не выяснено, как образовались лунные континенты. Но те же мощные процессы, которые послужили причиной образования лунных горных хребтов, могли также вызвать около 4 млрд. лет назад частичное плавление еще молодой тогда анортозитовой коры. Такое предположение позволило бы объяснить обилие

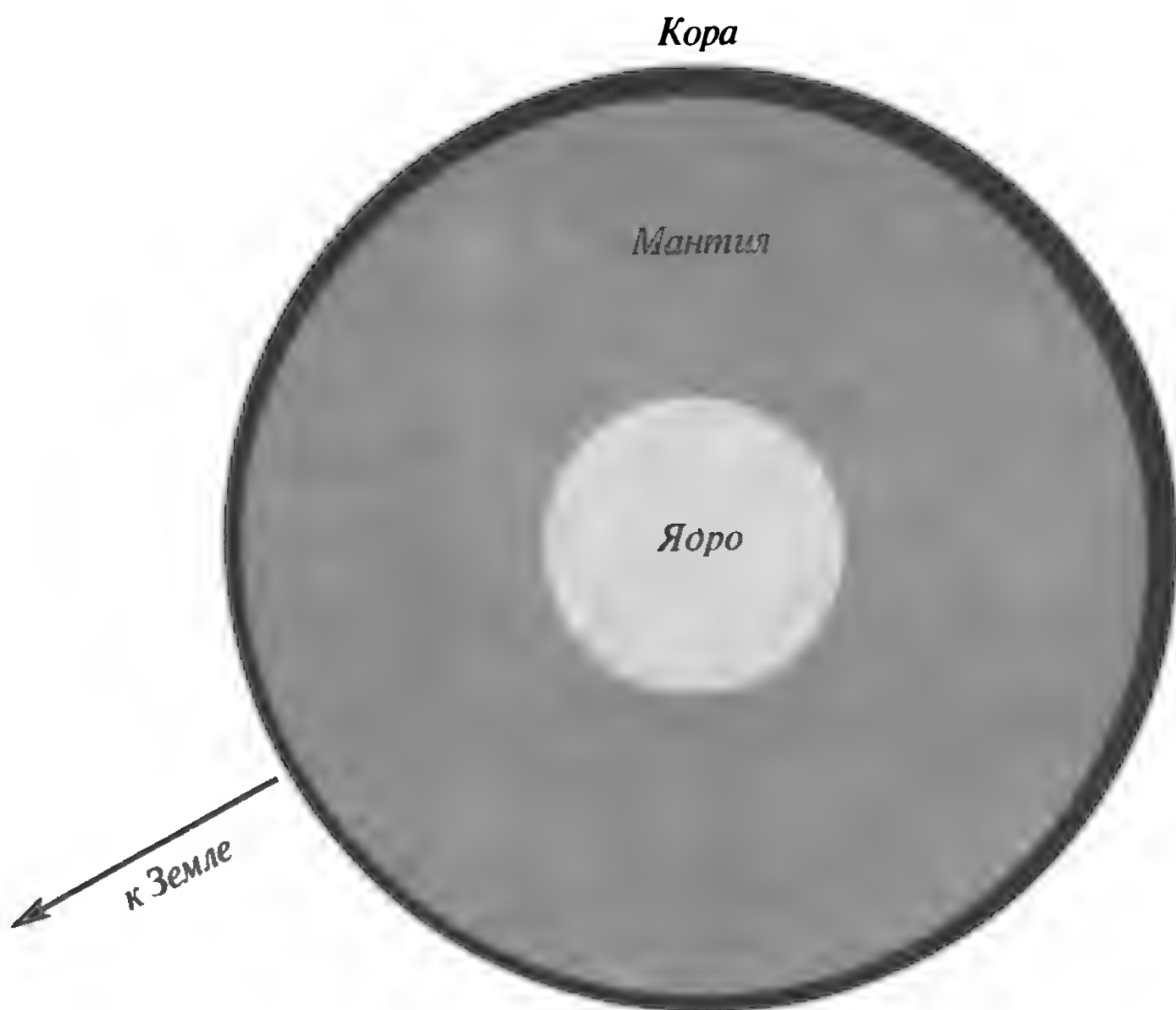


**Рис. 51. Образование Луны**

*Частицы различных форм и размеров попадали в сферу притяжения первичной Земли, когда наша недавно образовавшаяся планета «выметала» обломки, оставшиеся от солнечной туманности. Обращаясь вокруг Земли, частицы сталкивались и объединялись. Так постепенно сформировалась Луна. (Заимствовано у М. Зейлика.)*

криповых норитов в горных хребтах, подобных тем, что окаймляют Море Дождей и Океан Бурь.

Очевидно, что в течение веков о поверхность Луны ударялось множество метеоритов. Именно поэтому на ней так много кратеров. Но самые большие следы ударов



**Рис. 52. Строение недр Луны**

*Луна, как и Земля, состоит из ядра, мантии и коры. На стороне Луны, обращенной к Земле, кора тоньше, чем на обратной стороне. Этим объясняется отсутствие морей на обратной стороне Луны. Метеориты не могли пробить толстую кору на обратной стороне и тем самым вызвать излияния лавы из расплавленных недр. (Заимствовано у Вуда.)*

на лунной поверхности — это моря. Возможно, 3,5–4 млрд. лет назад по крайней мере десяток астероидоподобных объектов с силой столкнулись с Луной. Под действием столь разрушительных ударов на поверхности Луны возникли огромные кратеры, «прорвавшиеся» до жидких недр молодой Луны. Лава хлынула из недр Луны и за несколько сотен тысяч лет заполнила колоссальные кратеры. Темные ровные моря образовались, когда потоки расплавленной породы «заживляли» раны, нанесенные

астероидами. Таково происхождение морского базальта — самого молодого из основных типов лунных пород.

На стороне Луны, обращенной к Земле, кора должна быть тоньше, чем на обратной стороне (рис. 52). Мощные удары планетезималей не смогли пробить кору на обратной стороне Луны. Значит, там не было протяженных пространств, затопленных лавой, и поэтому нет образований типа морей.

За последние 3 млрд. лет на Луне не происходило сколько-нибудь значительных событий. Только продолжали сыпаться на поверхность метеориты, хотя в значительно меньшем количестве, чем прежде. Постоянная бомбардировка мелкими телами постепенно взрыхлила лунную почву, или реголит, как ее следует правильно называть<sup>1</sup>. Никакое крупное тело уже не сталкивалось с Луной после того, как гигантские камни километровых размеров образовали кратеры Коперник и Тихо.

Исследования показали, что бесплодный, стерильный мир Луны разительно отличается от земного. Все следы ранних этапов эволюции «активно живущей» Земли почти полностью стерты упорным действием ветра, дождя и снега, тогда как на безвоздушной безжизненной поверхности нашей ближайшей космической соседки, наоборот, навечно запечатлились следы некоторых самых древних событий, происходивших в Солнечной системе.

---

<sup>1</sup> Слово «почва» означает вещество, содержащее разлагающуюся биологическую массу. Термин «реголит» относится просто к покрывающей породе.

## НАШЕСТВИЕ МАРСИАН

Жизнь – обычное явление на нашей третьей от Солнца планете. Благодаря исключительной способности одной длинной двухспиральной молекулы воспроизводить свои точные копии наша планета оказалась заселенной огромным множеством разнообразных живых существ. Принято считать, что жизнь зародилась на Земле 3–4 млрд. лет назад в теплом, темном первичном водоеме. Кусочки органических молекул, аминокислот и нуклеотидов случайно объединились в некую комбинацию, которая и послужила основой для образования дезоксирибонуклеиновой кислоты.

Но почему Земле суждено было стать тем единственным местом, где произошел этот удивительный биохимический синтез? Возможно, подобные молекулы, дающие начало жизни, создаются и на других планетах, где существуют подходящие условия. Или наоборот, образование первых живых клеток на Земле является событием чрезвычайно маловероятным. В таком случае Земля должна была бы представлять собой абсолютно уникальное явление во всей безжизненной Вселенной.

В середине 1970-х годов ученые начали пересматривать эти предположения с учетом результатов экспериментов и наблюдений. Тогда окончательно созрел труднейший из вопросов: «Единственные ли мы?» Человечество сделало первые шаги в поисках внеземной жизни.

Традиционно Марс считался местом, где могла бы существовать жизнь. Марс – единственная планета, твердую поверхность которой удавалось без особого труда наблюдать при помощи наземных телескопов. Наблюдения показывают, что эта небольшая красноватая планета



**Рис. 53. Марс (снимки с Земли)**

*Телескопические исследования показывают, что Марс во многих отношениях похож на Землю. Там также существуют белые полярные шапки, размеры которых меняются в соответствии с сезонами; есть и темные пятна, которые кажутся зеленоватыми на фоне красной марсианской поверхности. Яркость этих пятен меняется со сменой сезонов таким образом, что наводит на мысль о возможности существования растительности на Марсе. (Ликская обсерватория.)*



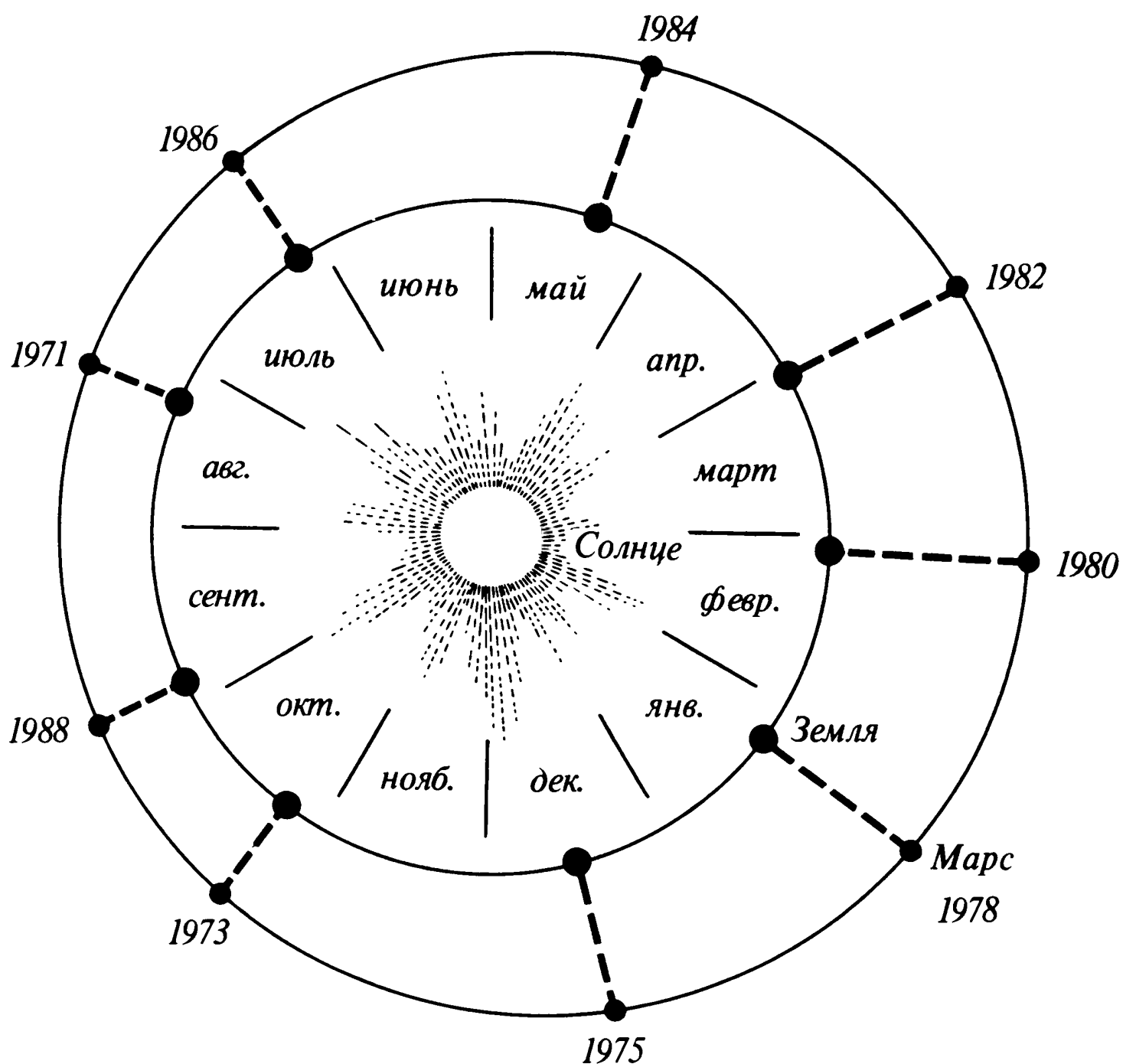
обладает некоторыми интересными и, по-видимому, «земноподобными» свойствами.

Прежде всего, Марс совершает оборот вокруг своей оси за 24,6 ч, т.е. день на Марсе только на 41 мин длиннее земного. Кроме того, ось вращения Марса образует угол  $24^\circ$  с перпендикуляром к плоскости, в которой лежит его орбита (для Земли этот угол составляет  $23,5^\circ$ ). Значит, смена сезонов на Марсе происходит так же, как на Земле. Правда, продолжительность сезонов на Марсе вдвое больше, чем на Земле, так как Марс делает полный оборот вокруг Солнца за 687 суток (что составляет примерно 1,88 земного года).

Внешнее сходство между Землей и Марсом, конечно, чисто случайно. Но еще в конце XVIII в. астрономы наблюдали на марсианской поверхности поражающие воображение сезонные изменения.

На Марсе, как и на Земле, имеются две полярные шапки. В период марсианской зимы это обширные белесые поверхности (см. рис. 53 и 64). Но с наступлением марсианского лета они сокращаются и постепенно почти исчезают из виду. Кроме того, на Марсе есть пятна, также подверженные сезонным изменениям: более четкими они кажутся весной и летом. А когда марсианская осень сменяется зимой, эти детали становятся бледными и тусклыми. В отличие от основной поверхности, имеющей красноватый оттенок, эти темные пятна выглядят зеленоватыми. Предполагалось, что это области, покрытые растительностью, и с XIX в. наличие жизни на Марсе считалось почти бесспорным.

Для наблюдений Марса при помощи наземных телескопов некоторые периоды более удобны, другие — менее. Как видно из рис. 54, Земля «нагоняет» Марс через каждые 780 дней. Но Марс обращается вокруг Солнца по заметно более вытянутой эллиптической орбите, чем Земля. Это значит, что расстояние Земля — Марс в моменты таких сближений (их называют противостояниями, так как в это время Марс оказывается расположенным на небе против Солнца) может составлять либо всего только 56 млн. км, либо целых 101 млн. км. Наиболее качественные снимки Марса удастся получить с Земли только во время «благоприятных противостояний», когда



**Рис. 54. Орбиты Земли и Марса**

Земля сближается с Марсом каждые 780 дней. Во время этих «встреч», называемых «противостояниями», создаются наиболее благоприятные условия для наблюдений красной планеты. Но поскольку орбита Марса заметно эллиптическая, при одних противостояниях видимость планеты оказывается лучшей, чем при других. Следующее «великое» противостояние произойдет в сентябре 1988 г.

расстояние до крошечной красной планеты оказывается наименьшим из возможных<sup>1</sup>.

Наблюдая Марс во время одного из таких противостояний, в 1887 г., итальянский астроном Джованни Скиапарелли сообщил о том, что он видел прямые линии, пересекающие поверхность Марса. Скиапарелли назвал эти детали *canali* (проливы), но, неправильно переведенные на английский язык как *canals*, они превратились в «каналы». Каналы на Земле, подобные Панамскому или Суэцкому, — это водные пути, сооруженные разумными существами. Поскольку на Марсе также были обнаружены каналы, из этого, казалось бы, логически вытекало, что на планете обитают разумные существа. И вскоре после этого некоторые наиболее восторженные астрономы, прежде всего Персиваль Ловелл в Аризоне, начали «открывать» десятки каналов по всему Марсу. Очевидным объяснением существования такой глобальной системы каналов казалось предположение о транспортировании воды от тающих полярных шапок к растительности в экваториальных областях. Марс, несомненно, безводная, умирающая планета, обитатели которой совершают чудеса технологии именно для орошения своих посевов. И конечно, они должны завидовать Земле с ее водным богатством. Но если они могли построить все эти каналы, то, вероятно, для них не составляет особого труда совершать межпланетные полеты. И тогда земляне окажутся беззащитными против нападения марсиан. Они могут раздавить нас как муравьев. Ужасное вторжение марсиан может скоро начаться!

И оно «началось». В книгах, журналах и бесконечной веренице кинофильмов. Нашествие за нашествием ужасных марсианских существ «опустошало» нашу планету, «уничтожало» ее обитателей. Однако *canali* Скиапарелли не существуют, их никогда и не было. Они, как и сами марсиане, были исключительно плодом воображения землян.

Сокрушительный удар по всем этим фантазиям был

---

<sup>1</sup> Противостояния, во время которых расстояние между Землей и Марсом наименьшее, называют «великими». — Прим. ред.

нанесен в 1965 г., когда космический аппарат «Маринер-4» пролетел в пределах 10 000 км от марсианской поверхности и передал на Землю 22 крупномасштабные фотографии планеты. К всеобщему удивлению, на снимках был запечатлен ландшафт с кратерами, который скорее напоминал ландшафт Луны, чем Земли. Но в отличие от лунных марсианские кратеры имели очень плоское дно. По-видимому, они были частично заполнены пылью в периоды пылевых бурь, время от времени проносящихся над планетой.

Хотя «Маринер-4» сфотографировал только 1% марсианской поверхности, его полет в целом был удачен, и ученые решили в дальнейшем вновь вернуться к красной планете. Они сделали это. В феврале–марте 1969 г. еще два космических аппарата пролетели над таинственным марсианским ландшафтом. «Маринер-6» и «Маринер-7» вместе передали 200 фотографий, которые показали, что Марс обладает своими собственными уникальными особенностями. Кроме кратеров с ровным дном (рис. 56) на фотографиях были обнаружены также обширные, совершенно ровные поверхности и территории с беспорядочно расположенными холмами.

Три полета аппаратов «Маринер» к Марсу в 60-х годах показали, что это негостеприимный, бесплодный мир. Давление воздуха в тонкой углекислой атмосфере меньше 0,01 атмосферного давления на уровне моря на Земле. Полуденная температура на марсианском экваторе в лучшем случае едва достигает 10°C. А в области полярных шапок зимой температура падает до – 120°C. При таких условиях замерзает даже углекислый газ в атмосфере и выпадает в виде снега на грунт. Обширные полярные шапки, столь легко различимые в наземные телескопы, почти целиком состоят из сухого льда.

В то время как все вымыслы писателей-фантастов относительно Марса были навсегда разбиты, сами астрономы столкнулись с множеством вопросов, так и оставшихся без ответа. К сожалению, все три аппарата «Маринер» лишь пролетели мимо Марса, мельком «взглянули» на него и уже более не возвращались к планете. Очевидно, было бы много лучше, чтобы космический



**Рис. 55. Марсианские фантазии**

*Некоторые наземные наблюдатели заявляли, что при хорошей видимости, когда воздух исключительно спокоен и прозрачен, им удавалось разглядеть семь линий, пересекающих марсианскую поверхность. Люди с особо богатым воображением предположили, что эти линии являются ирригационными каналами, построенными разумными существами. Приведенные здесь рисунок и фотография сделаны в одно и то же время, в период противостояния 1926 г. (Ликская обсерватория.)*



аппарат обращался по орбите вокруг планеты, проводя длительные наблюдения<sup>1</sup>.

Когда «Маринер-9» достиг Марса, над его поверхностью бушевала глобальная пылевая буря. Для метеорологов это был памятный день, но всем остальным пришлось ждать до начала 1972 г., чтобы пыль осела. И когда атмосфера прояснилась, «Маринер-9» начал посылать на Землю потрясающие виды планеты, которые не могли возникнуть даже в самых необузданных фантазиях.

Первой сквозь пылевую бурю прорезалась вершина Горы Олимп (Olimpus Mons), вулкана чудовищных размеров, равного которому нет на Земле. Гора Олимп почти в три раза выше Эвереста (Джомолунгмы). Диаметр основания вулкана, обрывающегося крутым утесом, приблизительно равен 500 км (рис. 58). Если бы Гора Олимп оказалась в Калифорнии, она едва бы поместилась между Лос-Анджелесом и Сан-Франциско.

Гора Олимп — один из четырех огромных вулканов, расположенных в области Тарсис, точно к северу от марсианского экватора. Вторая, менее значительная группа вулканов находится на расстоянии около 5000 км от первой в области Элизий. По какой-то неизвестной причине вся вулканическая активность на Марсе, по видимому, была сосредоточена только в северном полушарии планеты. Южнее марсианского экватора, напротив, расположено большинство кратеров с плоским дном.

Кроме гигантских вулканов, на фотографиях, полученных «Маринером-9», был обнаружен также громадный

---

<sup>1</sup> В конце 1971 г. на орбиты искусственных спутников Марса вместе с американским аппаратом «Маринер-9» вышли два советских аппарата — «Марс-2» и «Марс-3». 2 декабря 1972 г. спускаемый аппарат станции «Марс-3» вошел в атмосферу Марса и с помощью парашютной системы впервые совершил посадку на поверхность планеты. В феврале 1974 г. станция «Марс-4» прошла на близком расстоянии от Марса, станция «Марс-5» вышла на орбиту искусственного спутника Марса. В марте 1974 г. при подлете к Марсу от станции «Марс-6» был отделен спускаемый аппарат, который затем был переведен на траекторию встречи с Марсом. Спуск этого аппарата на планету осуществлялся на парашюте, а передаваемая информация ретранслировалась на Землю через аппаратуру станции «Марс-6». Примерно в это же время около Марса совершила пролет автоматическая станция «Марс-7». — *Прим. ред.*



**Рис. 56. Марсианские кратеры**

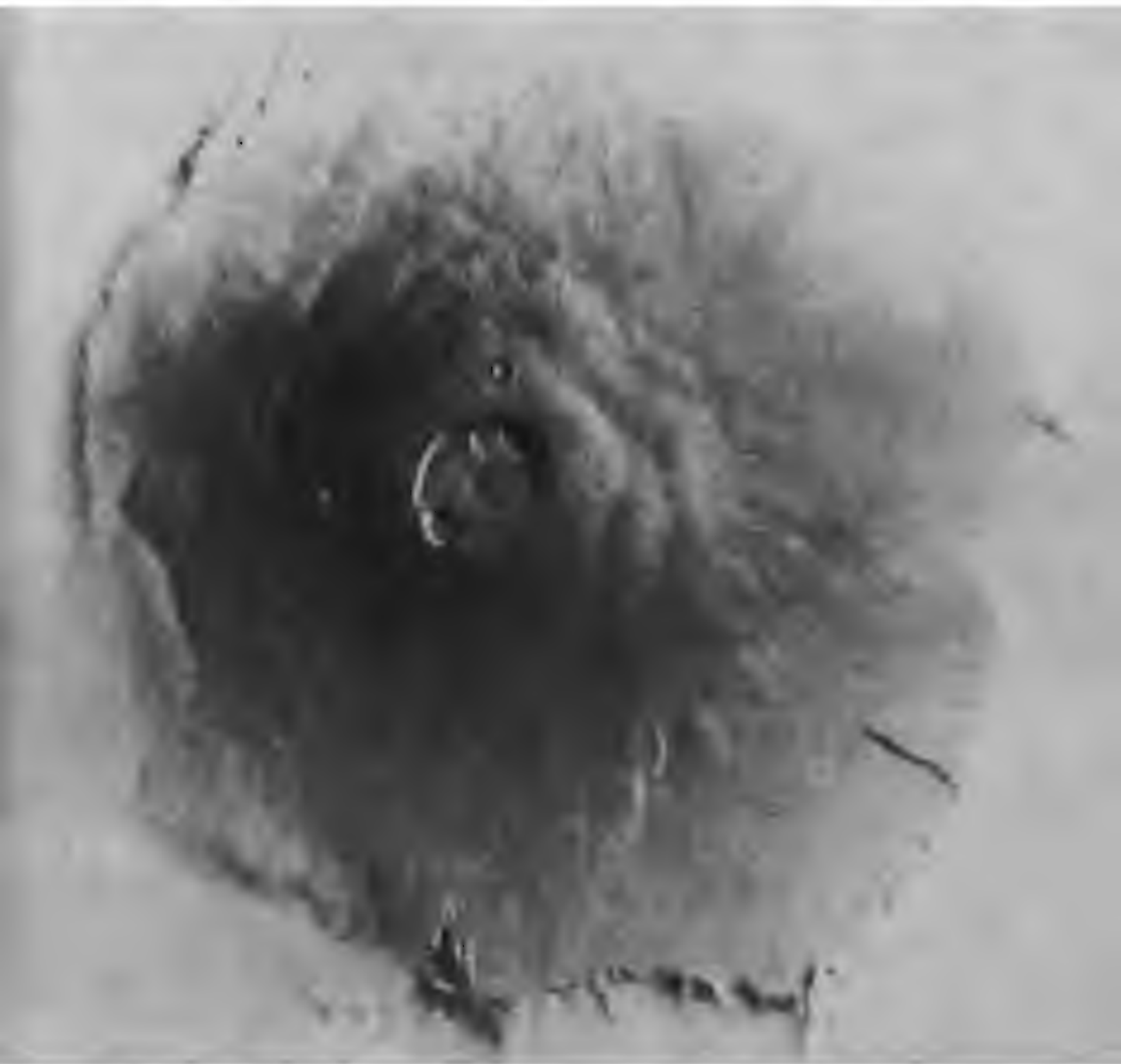
На этой мозаике из четырех снимков, полученных «Маринером-6» в 1969 г., видно большое количество кратеров с плоским дном. Площадь территории, изображенной на этих фотографиях, составляет примерно  $3500 \times 700$  км; она расположена точно к югу от марсианского экватора. (НАСА.)





**Рис. 57. Орбита «Маринера-9»**

*«Маринер-9» стал третьим – уже искусственным – спутником Марса 14 ноября 1971 г. Двигаясь по очень вытянутой эллиптической орбите с периодом 12 ч, «Маринер-9» смог сфотографировать всю планету. На Землю было передано 7329 фотографий. (НАСА.)*



**Рис. 58. Гора Олимп**

*Гора Олимп — самый высокий вулкан на Марсе. Его вершина поднимается на 24 км над окружающей поверхностью, т. е. он приблизительно в три раза выше горы Эверест (Джомолунгма). Гора Олимп так широка у подножия, что могла бы покрыть весь штат Миссури. (НАСА.)*

каньон. И опять на Земле нет ничего, с чем можно было бы сравнить марсианские каньоны. Марсианский каньон, получивший название Долины Маринер, имеет 4000 км в длину, до 200 км в ширину и круто спускается от края до глубины 6 км. Небольшая часть этой глубокой расселины показана на рис. 59. Для сравнения заметим, что длина Большого Каньона всего только 150 км, а глубина не более 2 км. Если бы Долина Маринер находилась на Земле, она протянулась бы от Нью-Йорка до Лос-Анджелеса!

Характерные черты вулканов и каньонов, обнаруженные «Маринером-9», убедительно свидетельствуют о том, что на Марсе движение тектонических плит так и не началось. Возможно, Долина Маринер представляет собой гигантскую расселину, где примерно 2 млрд. лет назад начали раздвигаться две плиты. Но, поскольку размеры Марса невелики, планета довольно быстро остыла, и ее кора вскоре стала очень толстой — много толще земной коры, — так что плиты просто «увязли» внизу. Так как плиты не двигались, из расплавленных недр, расположенных глубоко в мантии Марса, из года в год на поверхность планеты в одном и том же месте выбрасывалась струя лавы. Таким образом, вместо длинной цепи небольших вулканов (подобной Гавайскому хребту в Тихом океане) образовалось несколько очень больших вулканов.

Почти 400 лет назад великий немецкий астроном Иоганн Кеплер утверждал, что у Марса должно быть два спутника. Ведь у Земли есть Луна, и Галилей недавно открыл четыре спутника Юпитера. Идея о том, что у Марса должно быть именно два спутника, вытекала из представлений Кеплера о порядке и гармонии, царивших во Вселенной.

Несмотря на тщательные поиски, в течение многих лет марсианские спутники «ускользали» от астрономов — вплоть до великого противостояния 1877 г. Именно тогда Асафу Холлу, работавшему на обсерватории ВМС США, удалось заметить два слабых пятнышка света, расположенных очень близко к красной планете. Он назвал спутники Марса Фобосом и Деймосом (что означает «страх» и «ужас») — по именам мифологических



**Рис. 59. Долина Маринер**

*На фотографии показана только небольшая часть гигантского каньона на Марсе. Каньон проходит приблизительно параллельно марсианскому экватору; его длина составляет 4000 км. Фотография охватывает район площадью 500 × 400 км. (НАСА.)*

спутников бога войны Марса. Так как оба спутника едва различимы, то стало очевидно, что они очень малы.

И Фобос, и Деймос обращаются вокруг Марса по почти круговым орбитам, проходящим недалеко над экватором планеты. Орбиты действительно лежат настолько близко к планете, что ни один из спутников не виден из полярных областей Марса.

Фобос, более крупный из двух спутников и расположенный ближе к планете, «обегает» вокруг Марса всего за 7,5 ч на расстоянии 5000 км от его поверхности. Так как период обращения Фобоса по орбите много короче марсианского дня, для наблюдателя, находящегося вблизи экватора Марса, Фобос восходит на западе и быстро, за 5 ч, «проносится» по небу. При этом Фобос должен казаться в несколько раз ярче, чем Венера при наблюдении с Земли. Яркость Деймоса, находящегося дальше от Марса и имеющего меньшие размеры, чем Фобос, на марсианском небе примерно такая же, как яркость Венеры при наблюдении с Земли. Но орбита Деймоса проходит на расстоянии 20 000 км от поверхности Марса, т.е. почти точно соответствует синхронной орбите, двигаясь по которой тело кажется висящим над определенной точкой на экваторе планеты. Поэтому, если наблюдать за Деймосом с поверхности Марса, то можно видеть, как он с трудом «проползает» от горизонта к горизонту почти за трое полных марсианских суток.

Во время полета «Маринера-9» астрономы получили первые крупномасштабные изображения марсианских лун. На Землю было передано 27 фотографий Фобоса и 9 фотографий Деймоса. Одна из лучших фотографий показана на рис. 60. Четырьмя годами позже орбитальным космическим аппаратам «Викинг» удалось сфотографировать детали на поверхностях марсианских спутников (рис. 61 и 88). Фобос и Деймос оказались бесформенными глыбами, поверхности которых покрыты множеством кратеров. Впервые ученые смогли непосредственно измерить размеры спутников: Фобос — приблизительно  $27 \times 21 \times 19$  км; Деймос чуть меньше — примерно  $15 \times 12 \times 11$  км. Дальнейшие наблюдения показали, что Фобос и Деймос обращаются вокруг Марса синхронно. Иными словами, каждый спутник все время обращен



**Рис. 60. Фобос**

*На фотографии самого крупного из спутников Марса видно более десятка кратеров. Максимальный размер спутника не превышает 27 км, и существование кратеров указывает на то, что спутник очень старый. Фотография была получена «Маринером-9» с расстояния 5540 км. (НАСА.)*



**Рис. 61. Кратеры на Фобосе**

*На этой крупномасштабной фотографии Фобоса, полученной с расстояния всего лишь 880 км одним из орбитальных аппаратов «Викинг», можно рассмотреть детали размером до 40 м. Снимок охватывает приблизительно пятую часть поверхности крошечной марсианской луны. (НАСА.)*

к красной планете одной и той же стороной, как Луна — к Земле.

Неизвестно, как возникли марсианские луны. Некоторые ученые считают, что Фобос и Деймос могли образоваться путем гравитационной аккреции мелких камней, обращавшихся вокруг Марса в далеком прошлом. В таком случае образование этих спутников должно было происходить аналогично формированию нашей Луны, но в значительно меньших масштабах. Если справедливо это предположение, то марсианские луны, вероятно, состоят из базальтовых пород, как и спутник нашей Земли.

По мнению других специалистов, Фобос и Деймос представляют собой захваченные астероиды. Как будет сказано в гл. 9, Марс расположен очень близко к поясу астероидов, где тысячи огромных глыб обращаются вокруг Солнца. Возможно, что два таких астероида случайно проходили достаточно близко к Марсу и оказались навсегда пойманными гравитационным полем планеты. Если верна эта гипотеза, то марсианские луны,





**Рис. 62. Водная эрозия на Марсе**

*Миллионы лет назад в этой области Равнины Хриса произошло внезапное наводнение. За исключением нескольких кратеров с высокими валами, почти все было стерто потоком воды. (НАСА.)*

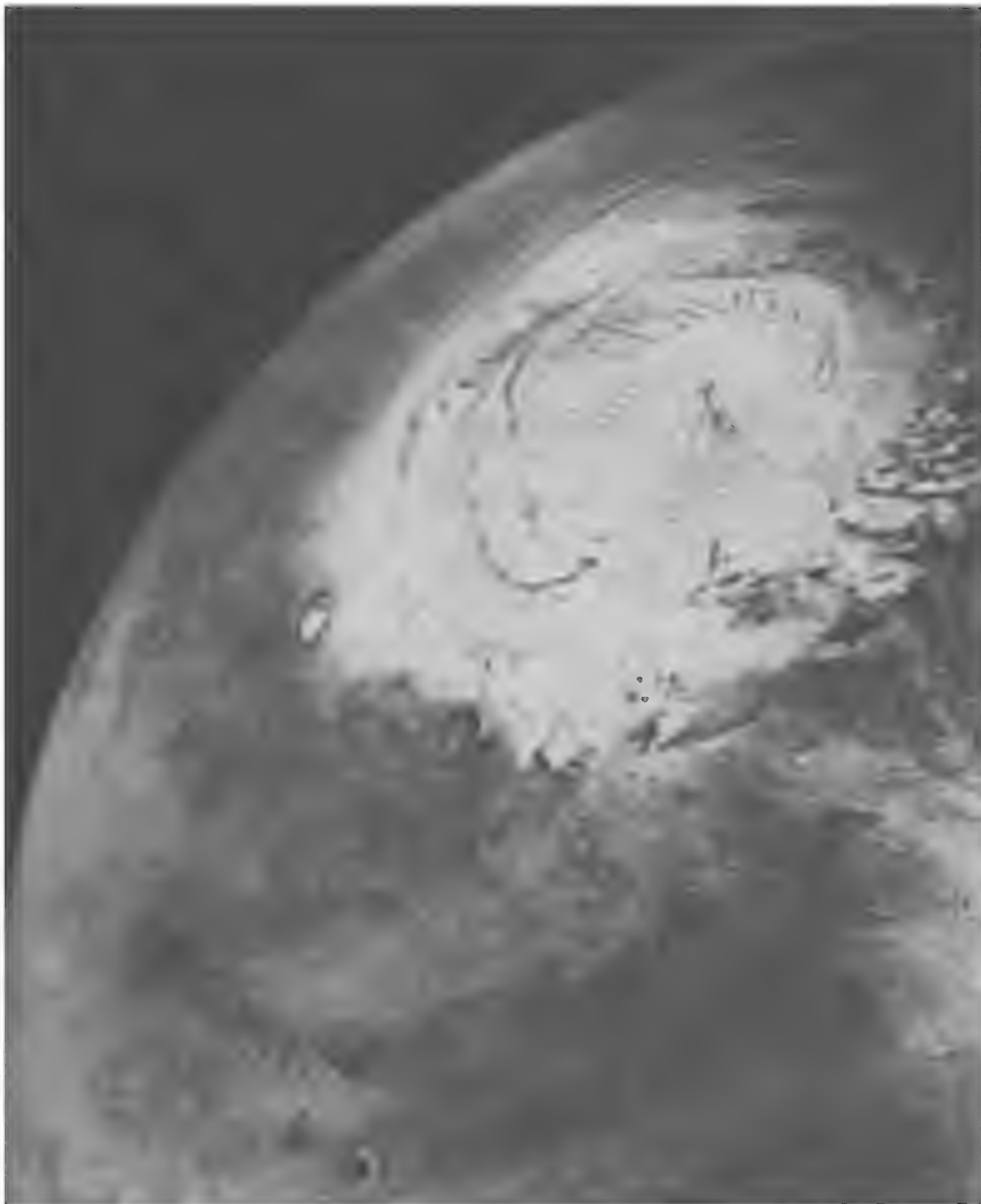




**Рис. 63. Оползень**

*На этой фотографии, полученной аппаратом «Викинг-1», показан участок южной стены Долины Маринер длиной 70 км. Стенка каньона, очевидно, обрушилась, образовав огромный оползень, который спустился вниз и растекаясь по дну каньона. (НАСА.)*

возможно, состоят из хондритового вещества, как многие метеориты. Плотность базальтовой породы чуть выше, чем у хондритовой. Точное определение плотности Фобоса и Деймоса (ее находят путем деления массы



**Рис. 64. Северная полярная шапка**

*Марсианские полярные шапки, покрывающие зимой площадь в тысячи квадратных километров, состоят преимущественно из тонкого слоя сухого льда. В период марсианского лета порошкообразный сухой лед полностью испаряется; сохраняется лишь небольшая полярная шапка постоянного размера, состоящая из замерзшей воды (обычного льда). Фотография была получена «Маринером-9» марсианской весной. (НАСА.)*

спутника на объем, который должны были определить космические аппараты «Викинг») могло бы решить, какая из гипотез верна.

Самые большие споры вызвало открытие «Маринером-9» на Марсе деталей, которые напоминают высохшие русла рек. Это поставило ученых в тупик, ибо Марс абсолютно безводен. В отличие от нашей собственной «насквозь промокшей» планеты Марс совершенно лишен воды. И если бы весь водяной пар, содержащийся в марсианской атмосфере, сконденсировался, то образовавшейся воды вряд ли хватило бы на то, чтобы заполнить озеро значительных размеров. Как же могла осуществляться водная эрозия без воды?

Ключ к разгадке «тайны пропавшей воды» помогли подобрать космические аппараты «Викинг-1» и «Викинг-2», приблизившиеся к Марсу летом 1976 г. Оба аппарата потратили много недель на поиски подходящего места для посадки, производя при этом крупномасштабное с высоким разрешением фотографирование планеты. В ходе этой разведки было обнаружено гораздо больше признаков водной эрозии, чем те несколько сухих русел рек, которые наблюдал «Маринер-9». Обнаруженные детали (рис. 62) явно указывают на признаки внезапного наводнения. По-видимому, изредка огромные массы воды внезапно и быстро проносились в некоторых районах поверхности Марса.

Камеры, установленные на «Викинге-1» и «Викинге-2», сфотографировали также огромные оползни и участки обрушивающейся поверхности. Один из таких эффектных оползней показан на рис. 63. Внешний вид оползней заставляет с уверенностью считать, что когда-то марсианский грунт находился в полужидком состоянии, напоминающем грязь. Кое-где видно, что следы водной эрозии образовались в результате непосредственного истечения из недр, вызванного обвалами грунта.

Естественно предположить, что на Марсе, как и в арктической тундре на Земле, существуют значительные отложения подповерхностного льда и вечная мерзлота. Иногда вулканическая активность приводит к таянию льда или оттаиванию вечной мерзлоты. При этом поверхностные слои подмываются, и тонны покрывающей

породы и грунта обрушиваются в воду. Тогда вода с силой прорывается к поверхности, создавая наводнение.

Вода не может долго существовать на поверхности Марса. Атмосферное давление на планете столь низко, что вода быстро выкипает<sup>1</sup>. Но на полюсах температура очень низкая, и лед воды может «выжить» там даже летом. «Маринер-9» показал, что полярные шапки состоят из сухого льда, который оседает на грунт, когда атмосферный углекислый газ вымерзает. Приборы на борту «Викинга-1» и «Викинга-2» обнаружили, что под налетом сухого льда существуют постоянные полярные шапки из замерзшей воды.

Основными целями полетов «Викингов» были: посадка космических аппаратов на поверхность Марса, исследование грунта и поиски каких-либо форм жизни. Эту работу предстояло выполнить двум спускаемым аппаратам, которые, отделившись от орбитальных отсеков, опустились на парашютах на поверхность планеты. Каждый спускаемый аппарат (рис. 65) был снабжен двумя телевизионными камерами, механической рукой и черпаком для забора грунта, предназначенного для исследований внутри спускаемого космического аппарата, а также несколькими метеорологическими приборами.

Как видно на рис. 66 и цветных иллюстрациях 1–4, усеянный камнями марсианский пейзаж совершенно бесплоден. Взглянув на эти фотографии, мы поражаемся полным отсутствием каких-либо признаков жизни. Бесплодность марсианской среды была в конечном счете подтверждена биологическими экспериментами, проведенными на борту спускаемых аппаратов, хотя результаты этих экспериментов вызвали немало споров среди ученых.

На каждом спускаемом аппарате «Викинг» было проведено по три биологических эксперимента, целью кото-

---

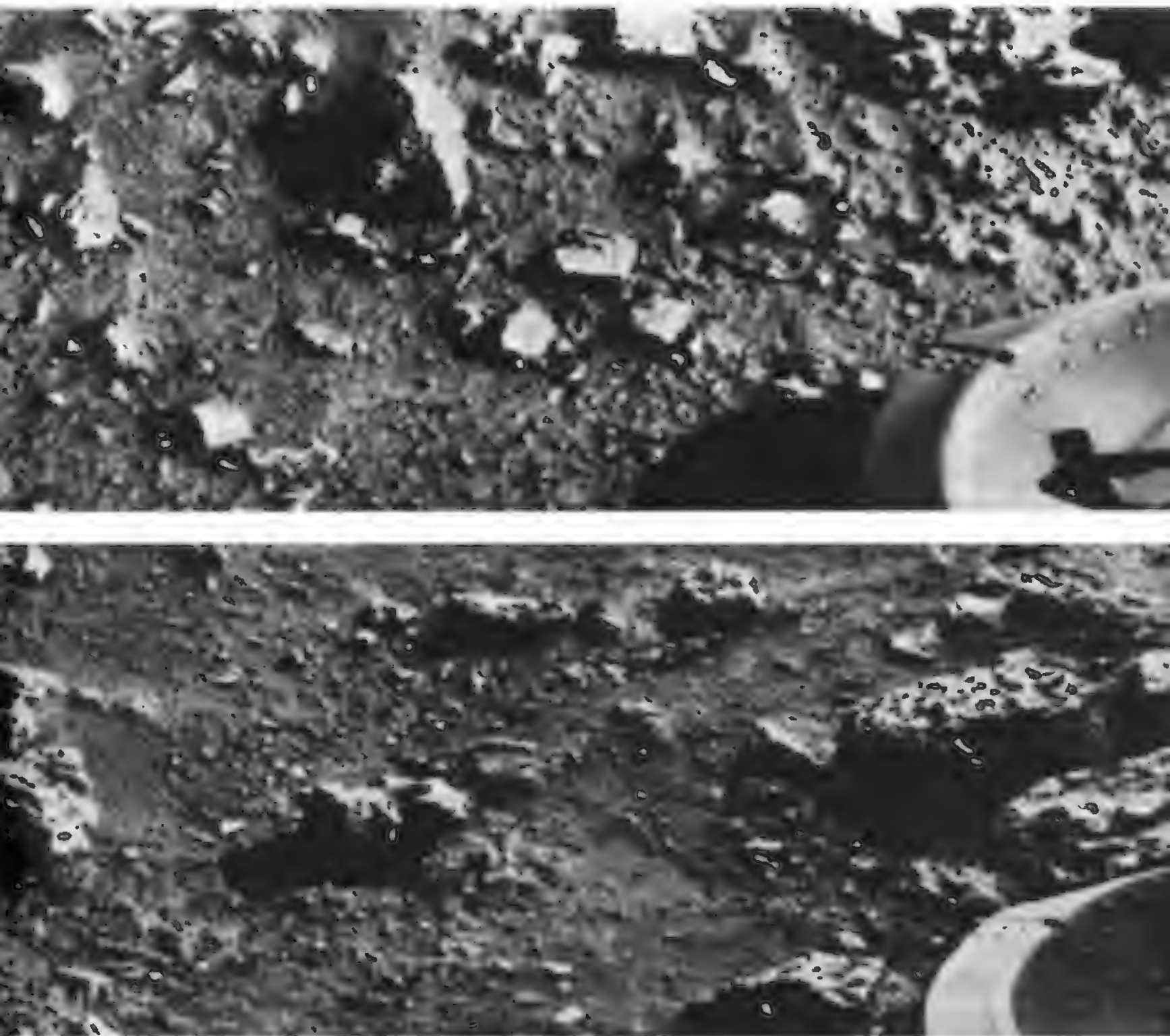
<sup>1</sup> Водяного пара в атмосфере Марса очень мало. По данным измерений автоматической станции «Марс-3», толщина условного слоя воды, осажженной из атмосферы, составляет всего 10–20 мкм (подобная величина для условий Земли в сухую погоду составляет 10–20 мм). Измерения, осуществленные с борта станции «Марс-5» двумя годами позже, дали в несколько раз большие значения – до 70 мкм. Такое же количество условно осажженной воды было получено по измерениям с борта аппарата «Викинг» в 1976 г. над тающей полярной шапкой Марса. – *Прим. ред.*



**Рис. 65. Спускаемые аппараты «Викинг»**

*Летом 1976 г. два космических аппарата успешно осуществили мягкую посадку на поверхность Марса. «Викинг-1» опустился в районе Равнины Хриса 20 июля 1976 г., а «Викинг-2» — в области Равнины Утопия 3 сентября 1976 г. Оба района посадки находятся в северном полушарии планеты, на расстоянии 7500 км друг от друга. (НАСА.)*

рых было обнаружение микроорганизмов в марсианском грунте. Все три эксперимента были основаны на предположении, что *живые организмы изменяют среду обитания*. Они питаются, дышат и выделяют отработанные продукты. Поэтому во всех опытах образцы марсианского грунта помещались в закрытый контейнер (вместе с некоторым количеством воды или питательных веществ), а затем производились наблюдения за изменениями, происходящими в контейнере.



**Рис. 66. Первые фотографии**

*Первые фотографии были переданы на Землю «Викингом-1» (верхняя) и «Викингом-2» (нижняя) сразу же после удачной посадки. На обоих снимках видно множество камней, размеры которых 10–20 см. (НАСА.)*

Эксперимент «разложение метки» был предназначен для выявления *процессов метаболизма*. В контейнер помещалась горсточка марсианского грунта. Затем грунт смачивался питательным раствором, меченным радиоактивным углеродом. Если в грунте присутствовали орга-



низмы, они должны были «питаться» этим раствором и выделять газы, содержащие радиоактивный углерод. Ученые были поражены, обнаружив, как много радиоактивного газа выделилось из нестерилизованного грунта.

Эксперимент «разложение пиролизом» был предназначен для выявления *процесса фотосинтеза*. В контейнер снова помещалась небольшая порция марсианского грунта. Затем герметически закрытый контейнер заполнялся газовой смесью, по своему составу близкой к атмосфере Марса, за исключением того, что углекислый газ в этой смеси содержал радиоактивный углерод. Далее контейнер освещался искусственным «солнечным» светом. Если бы в грунте содержались живые организмы, участвующие в процессе фотосинтеза, то они должны были бы «захватить» радиоактивный углерод из газовой смеси. Чтобы это проверить, из контейнера выпускался газ, а оставшийся грунт исследовался на содержание радиоактивного углерода. В одних случаях радиоактивный углерод был обнаружен, в других — нет, так что эксперимент не привел к каким-либо определенным выводам.

Эксперимент «газообмен» был предназначен для выявления «дыхания» микроорганизмов. В герметический контейнер помещалась небольшая порция грунта вместе с контрольным количеством газовой смеси. Затем почва смачивалась питательным раствором, и состав смеси в контейнере периодически проверялся. Если бы в грунте присутствовали живые организмы, они должны были вдыхать и выдыхать газы, изменяя при этом состав атмосферы в контейнере.

Эксперимент «газообмен» впервые охладил всякий энтузиазм по поводу возможности обнаружения жизни на Марсе. Эксперимент показал, что сразу же после смачивания марсианского грунта быстро выделялось значительное количество углекислого газа и кислорода. Хотя это могло бы свидетельствовать о протекании биологических процессов, темп образования газов был точно такой, какого следовало бы ожидать при чисто химической реакции. Другими словами, в марсианском грунте должны содержаться некоторые перекиси, которые шипят и пузырятся при смачивании водой. По-видимому,

положительный результат эксперимента «разложение метки» можно было объяснить таким же образом.

Хотя в результате полетов космических аппаратов «Викинг» не удалось обнаружить никаких признаков жизни на Марсе, было установлено, что марсианский грунт необычайно химически активен. В отличие от Земли Марс лишен защитного слоя озона в верхней атмосфере, который не пропускал бы ультрафиолетовое излучение Солнца к поверхности планеты. Это излучение высокой энергии, смертельное для земных организмов, возможно, и определяет химическую активность марсианской почвы.

Но, может быть, нам не удалось обнаружить жизнь на Марсе просто потому, что мы ставили *неправильные* эксперименты. Возможно, марсианские организмы функционируют иначе, чем живые существа на Земле: без процессов метаболизма, фотосинтеза или дыхания. Или, быть может, мы «заглянули» совсем не в те места? На Марсе есть еще очень много совершенно неизученных территорий, которые могут коренным образом отличаться от мест посадок обоих аппаратов «Викинг».

Ученые с волнением строят планы относительно полета на Марс возвращаемого аппарата. На этот раз спускаемый аппарат может быть снабжен колесами.

Пока еще мы не смогли проникать глубже поверхности таинственного «красного мира». Но на Марсе действительно может не быть жизни. Абсолютно не исключено, что Марс окажется столь же безжизненным и бесплодным, как Луна. Подобно тому как мы дезинфицируем раны обычной перекисью водорода, так и химически активный марсианский грунт, возможно, постоянно «дезинфицирует» всю планету. В таком случае не следует ли нам сосредоточить поиски внеземной жизни где-то в другом месте — например, в вечно движущихся красновато-коричневых облаках Юпитера?



---

## ЦАРЬ ПЛАНЕТ

Вероятно, окончательную судьбу и состояние планет, обращающихся в настоящее время вокруг Солнца, в первую очередь предопределило распределение температуры в первичной солнечной туманности. В теплых внутренних областях туманности пылевые частицы состояли в основном из металлов, окислов и силикатов. Температура там была слишком высока, и это исключало возможность существенной конденсации таких летучих веществ, как вода, метан и аммиак. Поэтому четыре планеты, образовавшиеся вблизи первичного Солнца, должны были состоять почти целиком из твердого каменного вещества. Хотя основными веществами в солнечной туманности были водород и гелий, небольшие внутренние планеты не могли удержать ни один из этих легких газов. Сила тяжести на поверхности этих планет была слишком мала, а поверхностные температуры слишком высоки. Поэтому водород и гелий легко улетучивались в космическое пространство.

Однако на расстояниях около полумиллиарда километров от Солнца всегда было холодно. На орбите Юпитера, которая расположена в пять раз дальше от Солнца, чем орбита Земли, освещенность, создаваемая Солнцем, составляет только  $1/27$  от освещенности на поверхности нашей планеты. Даже в очень далекие времена температура там была чрезвычайно низкой, и поэтому первичные пылевые частицы были покрыты толстыми заиндевелыми слоями льда и замерзших метана и аммиака. Таким образом, было «предначертано», что эти летучие вещества станут существенными составляющими далеких миров, обращающихся вокруг Солнца.

На этом расстоянии от протосолнца объединение первичных пылевых частиц, покрытых льдом, должно было происходить в бешеном темпе, гораздо эффективнее, чем во внутренних областях солнечной туманности. Так быстро сформировалось большое ядро планеты — первичный зародыш, вокруг которого мог расти Юпитер. В дальнейшем благодаря низкой температуре и большой силе тяжести на поверхности массивного ядра протопланеты ее гравитационное поле могло захватить большое количество водорода и гелия. Как показали детальные расчеты этого процесса, проведенные Ф. Перри и А. Каме-роном, атмосфера из водорода и гелия должна была становиться гидродинамически неустойчивой. Другими словами, как только ядро планеты выросло до определенного критического размера, водород и гелий, находящиеся вблизи нее, сразу обрушились на протопланету. Таким образом сформировалась самая большая планета в Солнечной системе, содержащая 82% водорода, 17% гелия и 1% прочих веществ, т.е. ее состав по существу оказался очень близким к составу первичной солнечной туманности. Можно полагать, что состав и размеры Сатурна объясняются примерно теми же общими процессами (вероятно, образование Урана и Нептуна происходило подобным образом, но гораздо менее интенсивно).

Юпитер — огромен. Его диаметр в 11,25 раза больше диаметра Земли: если бы Юпитер был полый, то внутри его могло бы поместиться 1400 земных шаров.

Юпитер — массивен. Его масса в 318 раз больше массы Земли и в 2,5 раза больше массы всех остальных тел Солнечной системы — планет, спутников, астероидов, метеоритов и комет, вместе взятых.

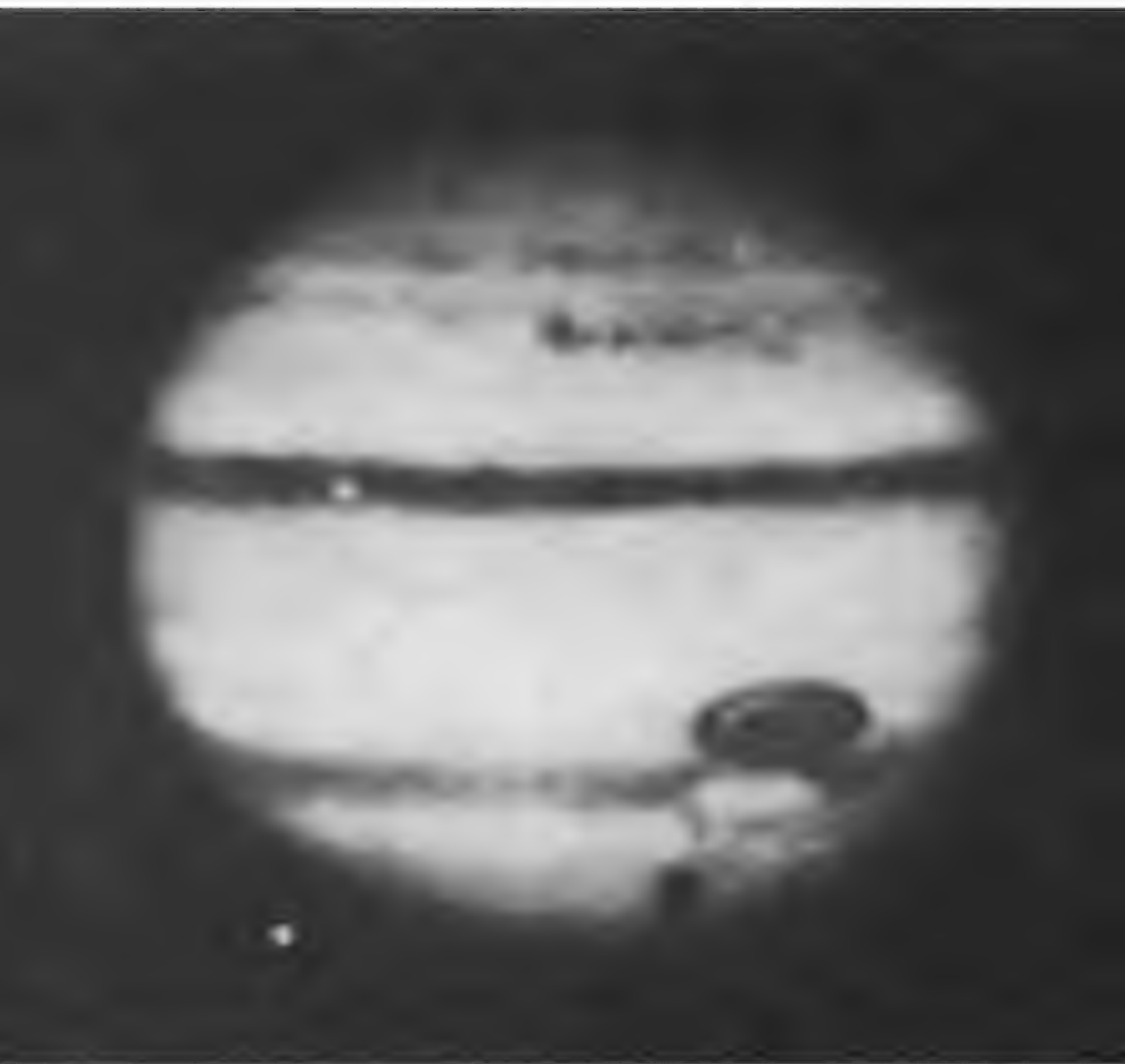
Юпитер вращается очень быстро. Вокруг своей оси он вращается быстрее любой другой планеты в Солнечной системе. «День» на Юпитере длится всего только 9 ч 55 мин. Фактически планета вращается не как твердое тело: экваториальные области вращаются чуть быстрее (9 ч 50 мин), чем среднеширотные и полярные. Это, конечно, объясняется тем, что планета состоит не из твердого вещества.

Быстрым вращением непосредственно обусловлены многие замечательные свойства Юпитера. Его форма

отлична от сферической. Как показано на рис. 67, Юпитер чуть «сплюснут» по экватору: экваториальный диаметр Юпитера приблизительно на 9000 км больше диаметра, проведенного от южного полюса планеты к северному.

Быстрое вращение Юпитера во многом определяет и общий облик планеты. Даже небольшого любительского телескопа достаточно, чтобы увидеть характерную полосатую структуру верхнего слоя облаков Юпитера. В верхней атмосфере обнаруживается серия светлых и темных полос (рис. 68, 69), обращаящихся параллельно юпитерианскому экватору. Светлые белесые полосы принято называть зонами, а более темные, красновато-коричневые — полосами. Те, кто следит за сообщениями о погоде, передаваемыми в вечерних последних известиях, знают, что на метеорологические условия на нашей планете сильно влияет перемещение областей высокого и низкого давлений в атмосфере. В областях высокого давления атмосферное давление выше среднего значения. Если бы мы могли увидеть земную атмосферу из космического пространства, то заметили бы в ней выпуклость там, где скопилось «избыточное» количество воздуха. «Избыток» воздуха создает дополнительное давление на земную поверхность; это и есть области высокого давления. В областях низкого давления атмосферное давление ниже среднего. Такие области выглядели бы из космоса как впадины в атмосфере, возникающие там, где на земную поверхность давит масса воздуха меньше средней. Подобно тому как вода течет под гору, воздушный поток имеет преобладающее направление от областей высокого давления к областям низкого давления. Дождь и снег, облака и солнечный свет появляются и исчезают по мере того, как области высокого и низкого давления постепенно проходят по нашей небольшой, медленно вращающейся планете.

В начале 70-х годов два космических аппарата пролетели мимо Юпитера, передав на Землю множество фотографий и разнообразных данных об атмосфере Юпитера и о его окрестностях. Типичный крупномасштабный снимок некоторых полос и зон планеты приведен на рис. 70. Из полученных сведений вскоре стало ясно, что



**Рис. 67. Юпитер**

*Юпитер—самая большая, самая массивная и имеющая наибольшую скорость вращения планета в Солнечной системе. Из-за быстрого вращения Юпитер несколько сплюснут на полюсах. Даже небольшого любительского телескопа достаточно, чтобы увидеть полосы Юпитера и Большое Красное Пятно. На фотографии виден один из спутников Юпитера—Ганимед—и его тень на поверхности планеты. (Обсерватория им. Хейла.)*



**Рис. 68. Полосы и зоны**

*«Пионер-10» пролетел мимо Юпитера 4 декабря 1973 г. Эта фотография была получена аппаратом с расстояния 1 840 000 км от планеты. В темных полосах и светлых зонах легко различаются многочисленные детали. (НАСА.)*



**Рис. 69. Большое Красное Пятно**

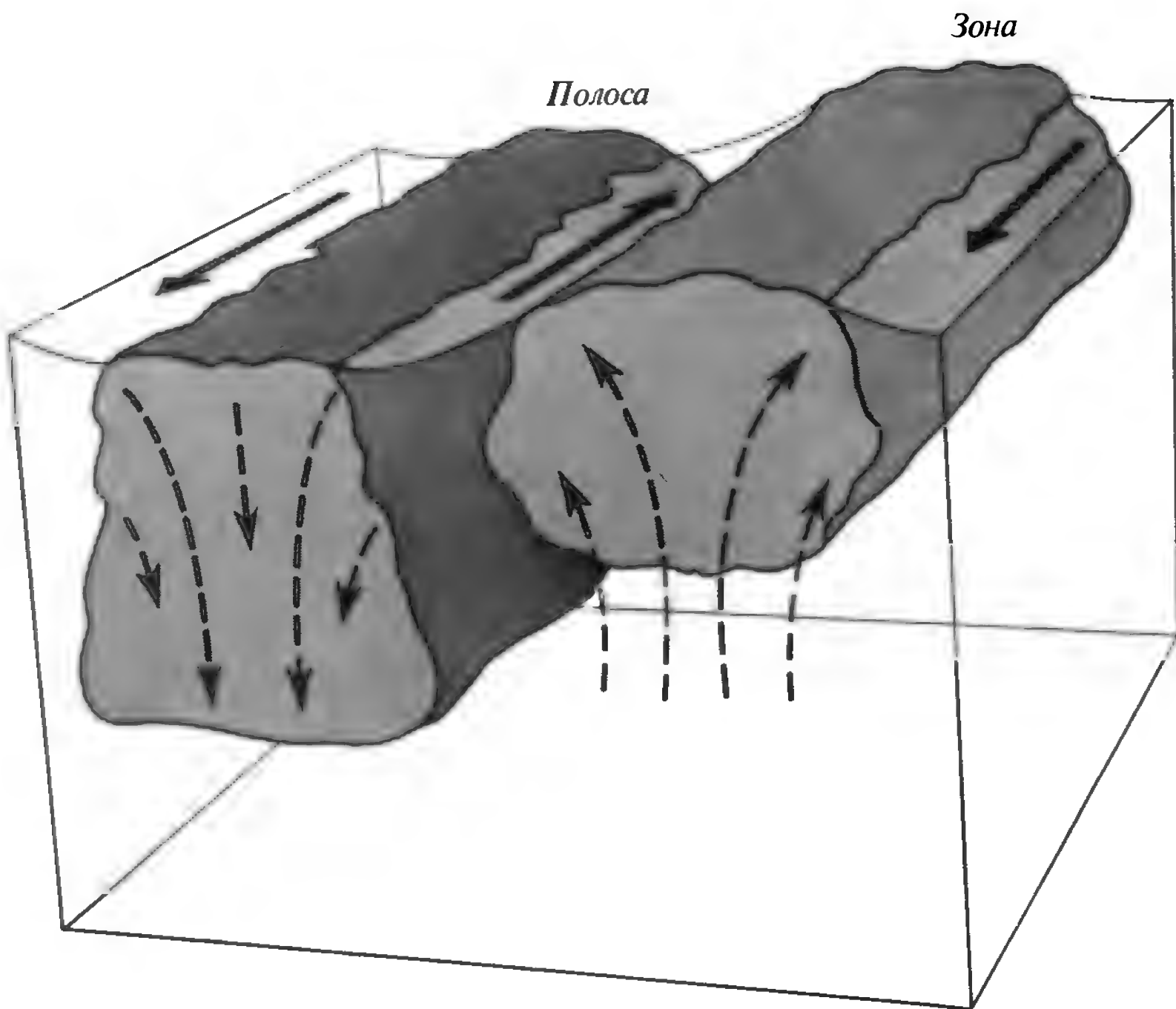
*«Пионер-11» пролетел мимо Юпитера 3 декабря 1974 г. До тесного сближения с планетой аппарат передал эту фотографию, полученную с расстояния 1 100 000 км. На площади, занимаемой Большим Красным Пятном, могло бы уместиться три земных шара. (НАСА.)*



**Рис. 70. Верхняя граница облаков Юпитера**

*Этот крупномасштабный снимок полос и зон Юпитера был получен «Пионером-10» с расстояния всего только 954 000 км. Отчетливо видны сложные детали, никогда прежде не наблюдаемые с Земли. (НАСА.)*

светлые зоны — это области высокого атмосферного давления на Юпитере, а темные полосы — области низкого давления. Теплые газы поднимаются вверх в области зон и остывают, достигнув верхней границы облаков. Затем, как показано на рис. 71, охладившиеся газы «падают» в соседние полосы, где давление низкое. Вследствие быстрого вращения планеты сильные пассаты и мощные струйные потоки текут по границам между полосами и зонами. В действительности картина крупномасштабной циркуляции в атмосфере Юпитера *точно та-*



**Рис. 71. Циркуляция в атмосфере Юпитера**

*Светлые зоны – области высокого давления, а более темные полосы – области низкого давления. Нагретые газы поднимаются вверх через зоны, остывают и «падают» в полосы.*

кая, какую мы могли бы получить, если бы «растянули» области высокого и низкого давления в земной атмосфере вокруг всей планеты. Иначе говоря, из-за быстрого вращения Юпитера циклоны и антициклоны, связанные с областями высокого и низкого давления, полностью «обвивают» гигантскую планету. В высоких широтах, в южной и северной полярных областях, упорядоченная картина зон с высоким давлением и полос с низким давлением разбивается на беспорядочные ураганы (рис. 72).



При помощи небольшого телескопа кроме полос и зон нетрудно также увидеть одну замечательную и маломеняющуюся деталь в атмосфере Юпитера — так называемое Большое Красное Пятно. Первым увидел Большое Красное Пятно итальянский астроном Джованни Доменико Кассини в 1665 г. Хотя яркость окраски пятна порою несколько блекнет, эту деталь астрономы наблюдают уже в течение трех столетий.

Подобно самой планете Большое Красное Пятно — огромно. Его ширина составляет приблизительно 14 000 км, а длина в течение веков менялась от 30 000 до 40 000 км, т.е. на Большом Красном Пятне могли бы удобно разместиться рядом три земных шара. Прекрасный снимок Большого Красного Пятна, полученный «Пионером-11», приведен на вклейке 7.

Большое Красное Пятно расположено в хорошо изученной зоне, лежащей к югу от юпитерианского экватора, называемой Южной Тропической зоной. Данные, полученные «Пионером-10» и «Пионером-11», показали, что имеющая цвет ржавчины верхняя граница облаков Большого Красного Пятна простирается на несколько километров *выше* окружающей верхней границы облаков Южной Тропической зоны. Но, как мы уже знаем, Южная Тропическая зона сама является областью высокого давления на Юпитере, так как граница облачного слоя зон на несколько километров выше границы облачного слоя полос. Таким образом, Большое Красное Пятно представляет собой область высокого давления, расположенную в зоне, где давление само по себе выше среднего. Поэтому Большое Красное Пятно иногда называют суперзоной.

В Большом Красном Пятне ветры направлены против часовой стрелки. Подобно огромному вихрю, в области которого давление высоко, Большое Красное Пятно вращается, делая один оборот за 12 земных суток<sup>1</sup>. Расчеты, недавно выполненные Эндрю Ингерсолом при

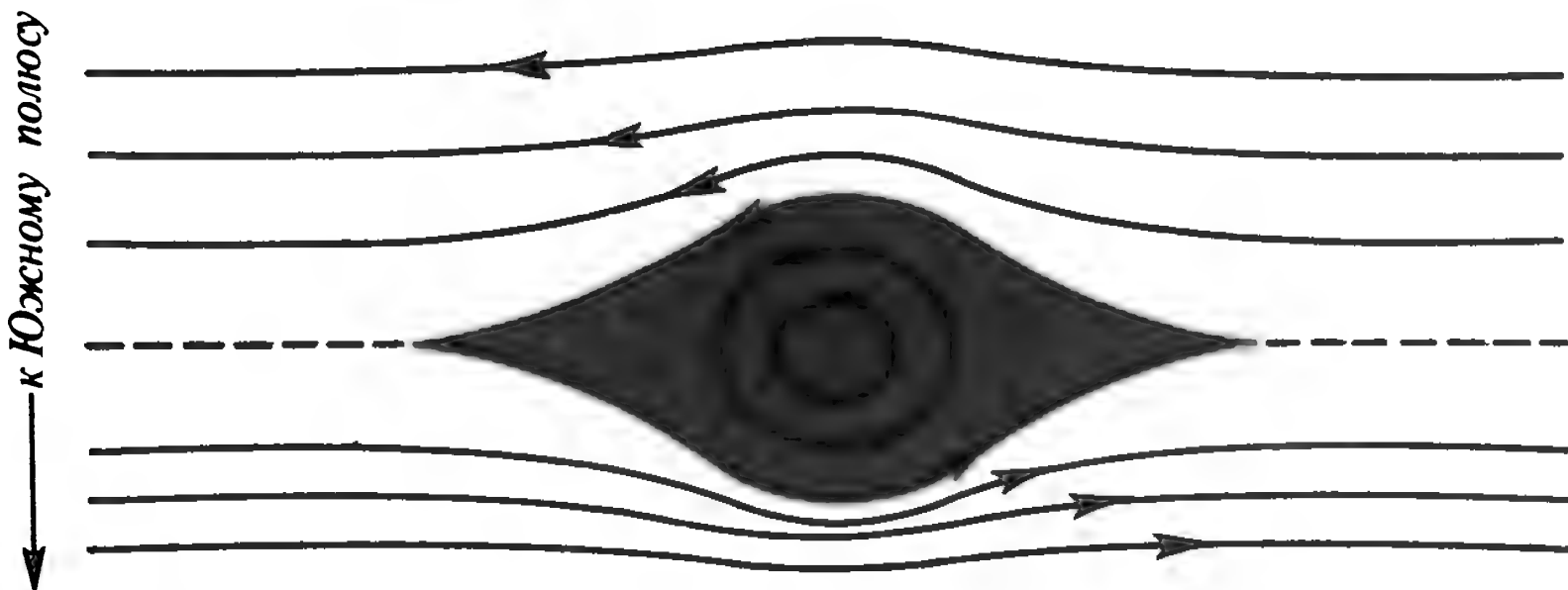
---

<sup>1</sup> По результатам съемок, проведенных аппаратами «Вояджер», период вращения Большого Красного Пятна составляет около 6 суток. — Прим. ред.



**Рис. 72. Турбулентность вблизи северного полюса**

*В полярных областях картина полос и зон становится неустойчивой. Циркуляция разбивает их на многочисленные воронки и вихри. Этот снимок был получен «Пионером-11» с расстояния 600 000 км от Юпитера. (НАСА.)*



**Рис. 73. Ветры в Большом Красном Пятне**

*В Большом Красном Пятне ветры направлены против часовой стрелки, образуя вихрь, который делает один оборот за 12 земных суток. Подобно колесу, катящемуся между двумя поверхностями, движущимися в противоположных направлениях, вращение Большого Красного Пятна происходит почти без трения. Из-за отсутствия «торможения» этот вихрь, давление в области которого весьма высоко, бушует уже три столетия. (Заимствовано у А. П. Ингерсола.)*

помощи ЭВМ, показали, что циркуляция такого масштаба в атмосфере Юпитера сравнительно устойчива и происходит без трения. Другими словами, подобно колесу, катящемуся между двумя поверхностями, движущимися в противоположных направлениях (рис. 73), Большое Красное Пятно вращается практически без трения или торможения. Поэтому-то такой огромный вихрь и может бушевать в течение трех столетий. Если бы Большое Красное Пятно было гораздо меньше, то оно испытывало бы более сильное торможение, и тогда вихрь скоро бы исчез. Действительно, на планете изредка наблюдались «небольшие красные пятна». Эти ураганы меньших размеров (величиной всего лишь с Землю) обычно через год-два иссякали.

Хотя ученые начинают понимать динамику метеорологических условий на Юпитере, цвета и оттенки, наблюдаемые в его атмосфере, остаются совершенно непостижимыми. Даже в любительский телескоп видно — и сним-

ки, полученные межпланетными космическими аппаратами (см. вклейки 5 и 6), это подтверждают,—зоны явно белесые, самое большее с легким желтоватым оттенком, а полосы оранжево-коричневые, цвета ржавчины.

Как мы уже знаем, Юпитер в основном (на 99%) состоит из водорода и гелия. Ни один из этих бесцветных газов не может придать атмосфере планеты окраску и оттенки, в действительности преобладающие в ее внешнем облике. Известно, что в атмосфере Юпитера присутствуют и другие вещества, а именно метан, аммиак и водяной пар. Хотя это тоже бесцветные газы, присутствие кристаллов аммиачного льда может объяснить светлую окраску верхней границы облаков в области зон. Здесь температура падает до  $-130^{\circ}\text{C}$ , и аммиак кристаллизуется в белесые снежные хлопья.

Но почему облака приобретают красноватый цвет, когда эти газы «переваливаются» из зон в соседние полосы? Некоторые ученые полагают, что при воздействии ультрафиолетового излучения Солнца на определенные вещества, содержащиеся на верхней границе облаков Юпитера, могут происходить фотохимические реакции. Проще говоря, ультрафиолетовое излучение вызывает реакцию, которая превращает какие-то (пока еще не открытые) химические соединения в новое вещество красновато-коричневого цвета. Когда это темное вещество опускается из зон в полосы, оно диссоциирует обратно на свои первоначальные компоненты и, поднимаясь через зоны, вновь оказывается чистым и бесцветным.

Но есть и другое объяснение, исходящее из заманчивой возможности протекания на Юпитере каких-то биологических процессов.

В начале 50-х годов Гарольд Юри и Стенли Миллер провели классический эксперимент: они поместили в колбу газовую смесь, состоящую из аммиака, метана, водяного пара и водорода, и затем пропускали через нее искровые разряды. Таким путем ученые просто пытались воспроизвести условия, существовавшие в первичной атмосфере Земли. Через несколько дней в колбе были обнаружены аминокислоты — «строительные блоки» молекул белков.

В последующие годы этот эксперимент многократно

осуществлял Сирил Поннамперума в лаборатории химической эволюции в университете штата Мэриленд. Мы, разумеется, далеки от того, чтобы считать себя способными сотворить жизнь непосредственно из неорганических химических веществ, однако совершенно очевидно, что в описанных экспериментах образуются многие из молекулярных строительных блоков живой материи. Примечательно, что темное «варево», которое возникает в этих экспериментах, имеет характерный красновато-коричневый цвет, т.е. точно такую же окраску и те же оттенки, которые наблюдаются в полосах Юпитера.

По-видимому, вполне разумно предположить, что подобные химические реакции происходят в турбулентной атмосфере Юпитера. В 1955 г. радиоастрономы открыли, что мощные перемежающиеся всплески помех земной радиосвязи обусловлены излучением Юпитера. Очевидным объяснением этих помех может быть то, что в облаках Юпитера проходят грозовые фронты и непрерывно сверкают молнии. Соответствующие химические соединения в атмосфере Юпитера есть, электрические разряды происходят. Так почему бы там не быть аминокислотам и нуклеотидам? И поскольку такая химическая «обработка» происходила миллиарды лет (а не в течение нескольких дней, как в лабораторных экспериментах), возможно, что уже прошло достаточно времени для развития живых организмов. Всего только на 100 км ниже верхней границы облаков Юпитера температура и давление вполне подходят для этого, даже по земным стандартам. Простые одноклеточные организмы легко могли бы там выжить, плавая среди облаков.

Поскольку биологические эксперименты, проведенные «Викингами» на Марсе, дали отрицательные результаты, облака Юпитера, возможно, послужат новой мишенью для поисков внеземной жизни. Запуски космических аппаратов планируются на 80-е годы. С орбитальных спутников предполагается опустить в атмосферу Юпитера зонды на парашютах. Во время спуска эти миниатюрные химико-биологические лаборатории будут передавать данные на спутники для последующей передачи их на Землю. Это может дать важные сведения, проясняющие процесс происхождения жизни на нашей собственной пла-

нете. Ведь принято считать, что современный химический состав атмосферы Юпитера такой же, какой имела первичная атмосфера Земли 4 млрд. лет назад.

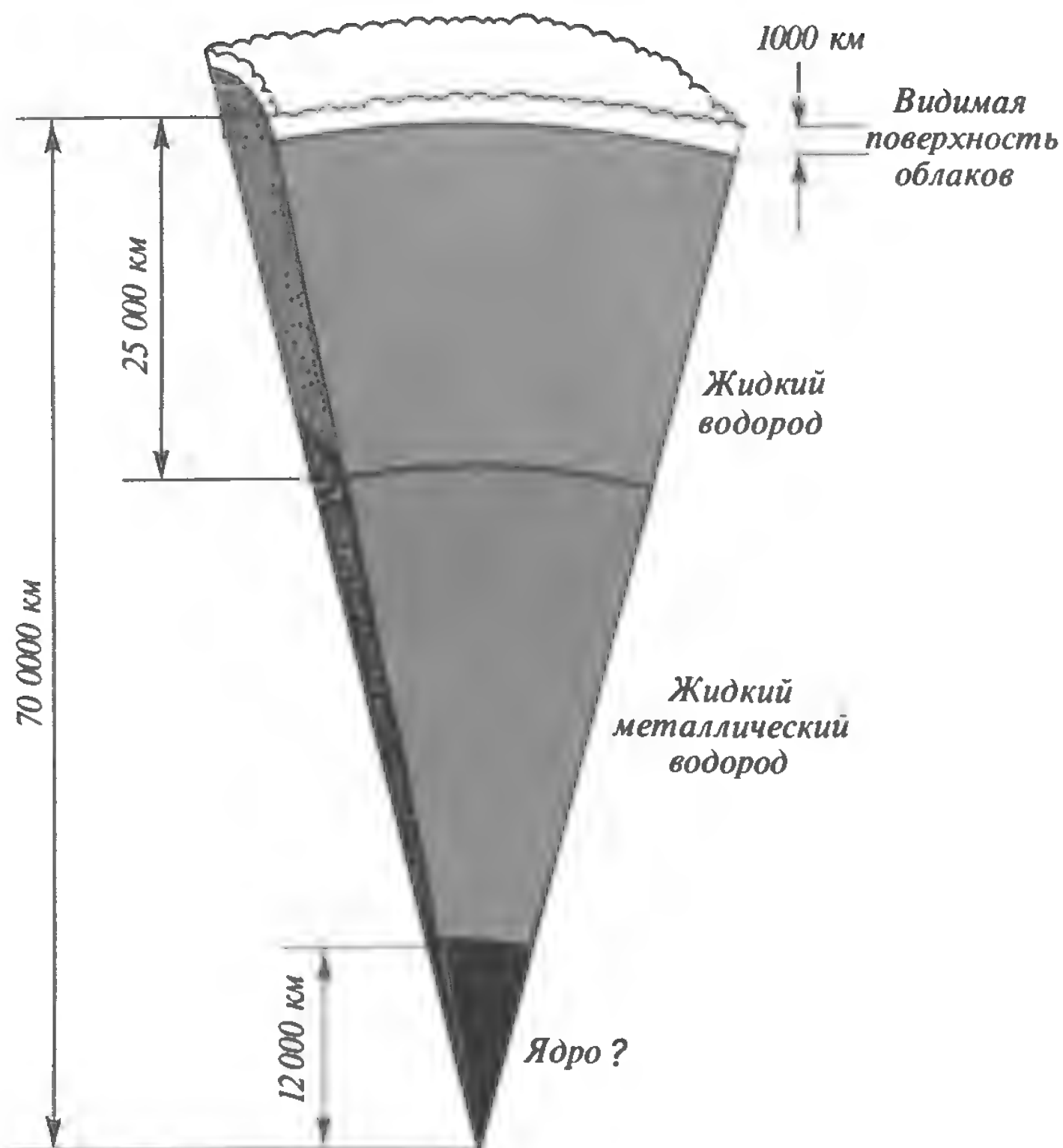
В 1977 г. Карл Везе из университета штата Иллинойс сообщил об открытии формы жизни, не известной ранее на Земле. В отличие от бактерий, а также растений и животных организмов вновь открытая форма жизни существует только в бескислородной среде — она была обнаружена в глубоких горячих источниках Йеллоустонского национального парка (США) и на дне океана. Эти простейшие организмы, внешне похожие на бактерии, усваивают углекислый газ, воду и водород, а выделяют метан. Вполне возможно, что названные одноклеточные организмы относятся к первичным организмам, из которых в конечном счете развилась вся жизнь на Земле. Эти древние организмы идеально приспособлены к первичной атмосфере Земли и могли бы также существовать в облаках Юпитера. Конечно, думать, что метан (часто называемый «болотным газом»), обнаруживаемый в атмосфере Юпитера, в действительности мог бы частично образоваться в результате биологических процессов, происходящих в полосах и зонах, — это значит дразнить себя ложными надеждами.

При проектировании космических аппаратов для полетов к Юпитеру следует уделять больше внимания экранированию приборов от интенсивного воздействия частиц высоких энергий. Юпитер, как и Земля, имеет магнитное поле, которое захватывает заряженные частицы (протоны и электроны) из солнечного ветра. В окрестностях Земли частицы захватываются в два гигантских тороидальных пояса, образуя так называемые радиационные пояса Земли (или пояса ван Аллена), которые полностью окружают Землю (см. рис. 33). Радиационные пояса занимают внутренние области земной магнитосферы. Внешние ее области находятся под сильным воздействием солнечного ветра. Там, где солнечный ветер, распространяющийся со сверхзвуковой скоростью, внезапно замедляется при первом столкновении с геомагнитным полем, образуется ударная волна. За фронтом ударной волны находится турбулентная область — магнитослой, в котором солнечный ветер стремится обтекать

Землю. Внутренняя граница магнитослоя называется *магнитопаузой*; здесь давление солнечного ветра уравновешивается давлением магнитного поля Земли. Из-за постоянного обдувания солнечным ветром магнитосфера Земли сносится в направлении от Солнца подобно гигантской невидимой комете.

Астрономам давно известно, что у Юпитера должно быть сильное магнитное поле. Существование глобального магнитного поля дает самое простое объяснение постоянным радиопомехам, обусловленным радиоизлучением Юпитера, которые впервые были открыты в конце 50-х годов. Многие из этих непрерывных помех легко можно объяснить движением электронов с большой скоростью в магнитном поле планеты. Но более глубокое изучение магнитосферы Юпитера должны были осуществить аппараты «Пионер-10» и «Пионер-11» в начале 70-х годов. Эти полеты показали, что магнитное поле Юпитера примерно в 10 раз сильнее земного. Кроме того, силовые линии магнитного поля Юпитера оказались направленными противоположно силовым линиям земного магнитного поля. На Юпитере стрелка компаса указывала бы направление на южный полюс.

Предполагается, что магнитное поле Земли является результатом существования электрических токов в жидкой части железного ядра Земли. Подобно гигантскому динамо эти токи при вращении Земли порождают общее магнитное поле нашей планеты. Однако у Юпитера нет железного ядра, поскольку он в основном состоит из водорода. Так что же может служить источником сильного магнитного поля Юпитера? Глубоко под верхним слоем облаков Юпитера атмосферное давление должно быть колоссальным. Сокрушающий вес триллионов триллионов тонн газа, давящий сверху, создает условия, невообразимые на Земле. Действительно, приблизительно на половине расстояния от поверхности до ядра Юпитера давление так велико, что находящийся там в жидком состоянии водород фактически переходит в металлическое состояние. Хотя жидкий металлический водород никогда не удавалось наблюдать в земных лабораториях, ученые вполне уверенно предсказывают существование жидкого металлического водорода при чрезвычайно вы-

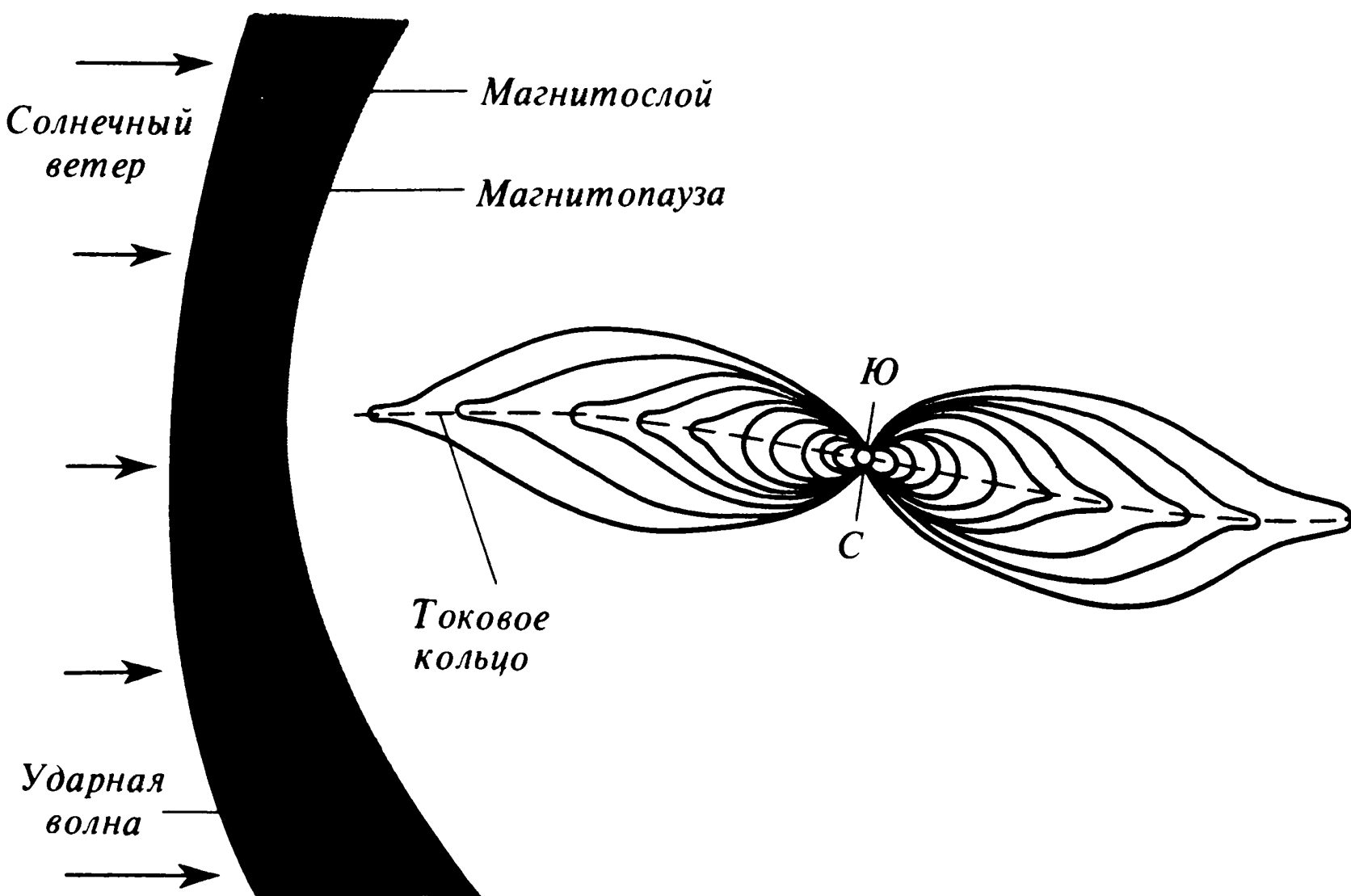


**Рис. 74. Внутреннее строение Юпитера**

Юпитер в основном состоит из водорода. Жидкий водород преобладает в недрах планеты до глубины 25 000 км от верхней границы облаков. Ниже этого уровня — там давление превышает 3 млн. атм. — жидкий водород находится в металлическом состоянии.

соких давлениях. По мнению ученых, большая часть недр Юпитера состоит из жидкого металлического водорода (рис. 74). Электрические токи в жидких металлических недрах Юпитера, вероятно, являются источником





**Рис. 75. Магнитосфера Юпитера**

Магнитное поле Юпитера примерно в 10 раз сильнее земного. Поэтому протяженность магнитосферы Юпитера приблизительно в 100 раз больше, чем у Земли. Вследствие быстрого вращения Юпитера заряженные частицы собираются в гигантский тонкий слой, расположенный параллельно плоскости магнитного экватора планеты.

его магнитного поля, точно так же, как токи в жидком железном ядре Земли создают ее магнитное поле.

Так как магнитное поле Юпитера много сильнее земного, магнитосфера Юпитера поистине колоссальна. Если бы можно было увидеть магнитосферу Юпитера ночью невооруженным глазом, она казалась бы в 16 раз больше полной Луны, хотя сам Юпитер выглядит на нашем небе не более чем очень яркой звездой.

Магнитосфера Юпитера, как и магнитосфера Земли, ограничена фронтом ударной волны, магнитослоем и магнитопаузой (рис. 75). Но вследствие быстрого вращения планеты на заряженные частицы, находящиеся внутри



**Рис. 76. Поверхность Ганимеда**

*Эта фотография Ганимеда была сделана аппаратом «Вояджер-1» 5 марта 1979 г. с близкого расстояния 145 000 км. Низ фотографии охватывает расстояние 580 км. Заметна странная система русел и каналов, которые пересекают ледяную поверхность Ганимеда. (НАСА.)*

магнитосферы Юпитера, действуют центробежные силы большей величины. Поэтому частицы не захватываются тороидальными радиационными поясами, а отбрасываются в гигантский плоский слой, называемый *токовым*

кольцом, которое расположено примерно параллельно плоскости магнитного экватора планеты.

В протяженной магнитосфере Юпитера наблюдаются такие сложные явления, которые просто невозможны на нашей планете. Дело в том, что орбиты пяти из четырнадцати<sup>1</sup> спутников Юпитера расположены *внутри* его магнитосферы. Орбиты всех четырех гигантских галилеевых спутников (Ио, Европы, Ганимеда и Каллисто), а также крошечной Амальтеи проходят так близко к Юпитеру, что они постоянно выметают из магнитосферы заряженные частицы, оставляя позади себя пустые коридоры. Это приводит к временному уменьшению интенсивности радиации вблизи Юпитера; есть даже некоторые свидетельства того, что, возможно, каждые 10 ч магнитосфера Юпитера полностью опустошается.

Изучение магнитосферы Юпитера определенно является одной из главных целей космических полетов, планируемых в США на 80-е годы. Конечно, это было бы лучше сделать при помощи орбитальных космических аппаратов, чем при кратких пролетах «Пионера-10» и «Пионера-11», а также «Вояджера-1» и «Вояджера-2». Если бы представилась благоприятная возможность изучить галилеевы спутники с близкого расстояния, то это было бы большой удачей таких полетов. Как мы говорили в гл. 5 (см. рис. 40), каждая из этих четырех лун Юпитера по размерам не уступает Меркурию, и всем им по праву полагалось бы считаться планетами. По-видимому, каждая из них имеет свои отличительные особенности. Ио состоит главным образом из твердых пород. Европа, вероятно, покрыта толстым слоем льда. У Ганимеда и Каллисто также возможны существенные запасы воды под поверхностью. Можно предполагать, что будущие полеты позволят обнаружить там множество интереснейших деталей, которые не в силах создать наша даже самая необузданная фантазия<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> По результатам полетов космических аппаратов «Вояджер» у Юпитера обнаружено 15 спутников.— *Прим. ред.*

<sup>2</sup> Краткий обзор результатов пролета вблизи Юпитера аппаратов «Вояджер-1» и «Вояджер-2» дан в послесловии.— *Прим. ред.*

---

## ВНЕШНИЕ МИРЫ

Сатурн, несомненно, представляет собой одно из самых эффектных зрелищ, которые можно увидеть при помощи телескопа. Хотя во многих астрономических книгах приводятся яркие цветные фотографии туманностей и галактик, вид этих удаленных объектов Вселенной при непосредственном наблюдении в телескоп часто разочаровывает. Даже в самые мощные телескопы туманности или галактики выглядят просто как слабые туманные пятна сероватого цвета. Поражающее воображение цветные фотографии этих объектов — результат длительных экспозиций, позволяющих зафиксировать малейшие оттенки и окраску, лежащие далеко за пределами восприятия человеческого глаза.

Совсем другое дело — вид Сатурна. При взгляде в окуляр телескопа нам открывается яркий таинственный небесный объект, окруженный эффектной системой колец. Наряду с кратерами на Луне и пятнами на Марсе Сатурн (рис. 77) является одним из привлекательнейших объектов для наблюдения астрономов-любителей, имеющих небольшие телескопы. Обычно, впервые увидев Сатурн, такие наблюдатели испытывают некоторое разочарование, так как планета кажется меньше, чем они ожидали. Но тут следует напомнить, что Сатурн находится от нас на расстоянии приблизительно полутора миллиардов километров.

По многим своим характеристикам Сатурн занимает второе место после Юпитера среди планет Солнечной системы: только Юпитеру он уступает по размерам, массе и скорости вращения вокруг оси. Данные о всех



**Рис. 77. Сатурн**

*Сатурн – шестая от Солнца планета Солнечной системы. Находясь на расстоянии 1,5 млрд. км от Солнца, Сатурн совершает полный оборот по орбите за 29,5 земных года. Великолепные кольца планеты можно легко увидеть при помощи любительских телескопов. (Университетская обсерватория штата Нью-Мексико.)*

четырех планетах-гигантах приведены в табл. 2. Газовая поверхность Сатурна, как и поверхность Юпитера, также «полосата». И здесь он уступает своему гигантскому соседу: полосы и зоны Сатурна не так резко выражены, как у Юпитера. На Сатурне никогда не было замечено деталей, которые можно было бы сравнить с Большим Красным Пятном Юпитера.

Самой выдающейся чертой шестой от Солнца планеты, конечно, является великолепная система колец. Кольца Сатурна впервые наблюдал в 1655 г. голландский астроном Христиан Гюйгенс (который составил также первую

Таблица 2

|        | Относительный диаметр* | Относительная масса | Период обращения    |
|--------|------------------------|---------------------|---------------------|
| Юпитер | 11,2                   | 317,9               | 9 ч 50 м–9 ч 55 м   |
| Сатурн | 9,5                    | 95,2                | 10 ч 14 м–10 ч 38 м |
| Уран   | 3,7                    | 14,6                | около 11 ч          |
| Нептун | 3,5                    | 17,2                | около 16 ч          |

\* Диаметр и масса Земли приняты за 1.

карту Марса). И только много лет спустя астрономы обнаружили, что это замечательное образование вокруг Сатурна на самом деле состоит из нескольких концентрических колец. Действительно, в настоящее время обычно различают четыре кольца<sup>1</sup>.

Первый намек на существование у Сатурна нескольких колец был получен в 1675 г. известным астрономом Джованни Кассини (он сделал также первые зарисовки Большого Красного Пятна), открывшим промежуток в кольцах. Этот промежуток, названный делением, или щелью, Кассини легко виден при помощи любительских телескопов или на фотографиях с высоким разрешением. Щель Кассини отделяет Внешнее кольцо (кольцо А) от Яркого кольца (кольца В). Ширина промежутка составляет около 5000 км.

Третье кольцо, называемое Креповым, или кольцом С, впервые было замечено в 1850 г. Креповое кольцо расположено непосредственно внутри кольца В и лишь едва выделяется на самых высококачественных фотографиях. В 1969 г. некоторые наблюдатели сообщили об открытии более слабого, ближайшего к планете кольца. Это кольцо D расположено непосредственно внутри кольца С и простирается в сторону планеты до расстояния 12000 км от ее газовой поверхности.

Система колец Сатурна огромна. Наружный диаметр

<sup>1</sup> Имеются в виду наземные наблюдения. При фотографировании с близкого расстояния были обнаружены дополнительные детали в строении колец Сатурна.—Прим. ред.

внешнего кольца составляет 274 000 км. Это приблизительно *вдвое* больше диаметра Юпитера. Но, несмотря на свою громадную протяженность, кольца исключительно тонки. Через них можно легко видеть свет звезд, находящихся за ними. Кроме того, ориентация колец по отношению к земному наблюдателю позволяет иногда видеть их с ребра. В таких случаях кажется, что кольца исчезли. Поэтому астрономы предполагают, что толщина колец не превышает 5 км. Исследование солнечного света, отраженного от колец, показало, что кольца не являются неким цельным образованием из твердого вещества, а состоят из бесчисленного множества твердых обломков размерами с булыжник и ледяных глыб. Подобно тому как Меркурий обращается вокруг Солнца много быстрее Плутона, так и каменные и ледяные глыбы, образующие внутреннее кольцо Сатурна, обращаются вокруг планеты много быстрее (всего за 2 ч), чем обломки, находящиеся в наружном слое Внешнего кольца (период их обращения составляет около 15 ч).

Каменные глыбы, вероятно, покрыты слоем инея. Данные, свидетельствующие о существовании сухого льда в кольцах Сатурна, впервые были получены Джерардом П. Кейпером в 1949 и 1957 г. при наблюдении Сатурна в инфракрасной области спектра. Наличие ледяного покрова помогло бы объяснить высокую отражательную способность колец Сатурна, казалось бы, несовместимую с их исключительной разреженностью.

Общая масса колец Сатурна составляет всего лишь около 0,01 массы Луны. Другими словами, если бы все вещество, содержащееся в кольцах Сатурна, собрать вместе в довольно плотное тело, то последнее по своим размерам было бы сравнимо с типичным малым спутником планеты в Солнечной системе. Обычно считается, что все большие спутники образовались путем постепенной аккреции частиц, обращавшихся вокруг протопланет на ранней стадии развития Солнечной системы. Но частицы твердого вещества в кольцах Сатурна находятся слишком близко к планете, и действующие на кольца приливные силы, обусловленные тяготением Сатурна, значительно превосходят силы притяжения между отдельными частицами. Следовательно, более мощные приливные



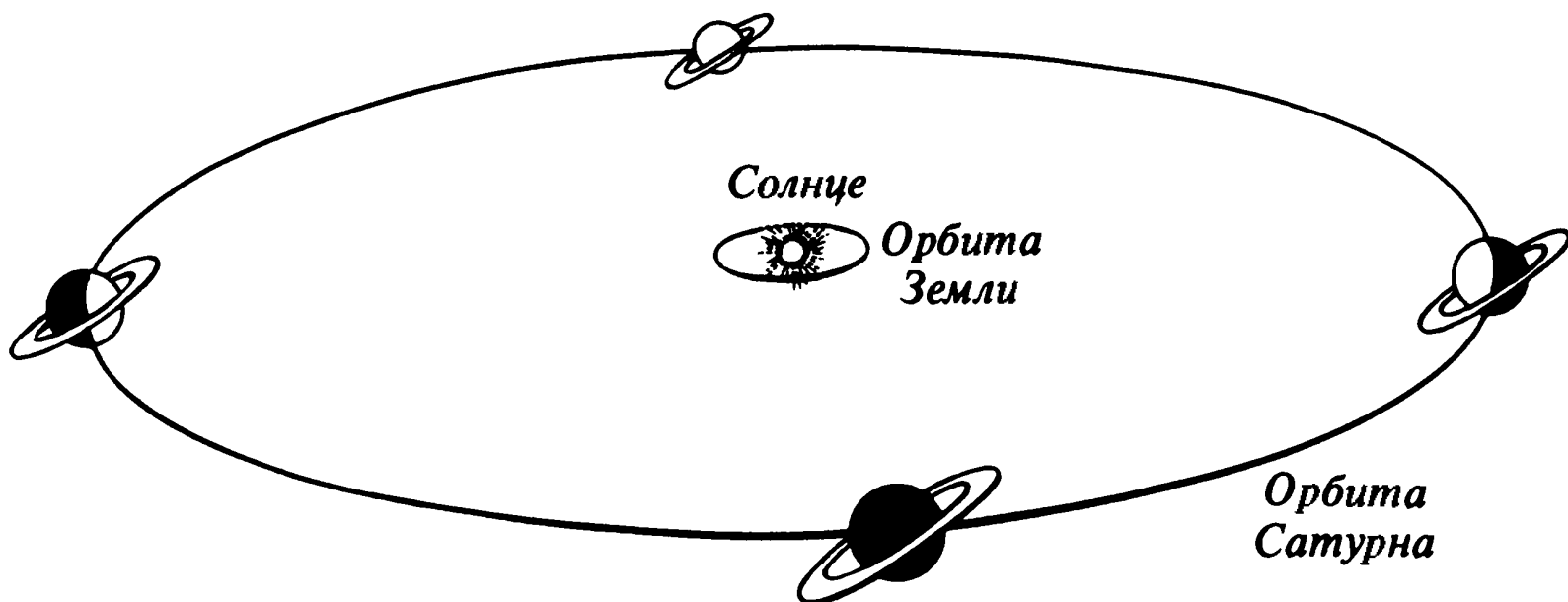
**Рис. 78. Сатурн**

*Сатурн, как и Юпитер, из-за большой скорости вращения слегка сплюснут с полюсов: экваториальный диаметр—120 000 км, тогда как диаметр, проходящий через полюса—107 000 км. (Обсерватория им. Хейла.)*

силы воспрепятствовали естественному объединению частиц в одно небесное тело—спутник планеты.

Кольца Сатурна расположены в его экваториальной плоскости. Но экваториальная плоскость Сатурна, как и у Земли, наклонена к плоскости орбиты, по которой планета обращается вокруг Солнца. У Земли угол между





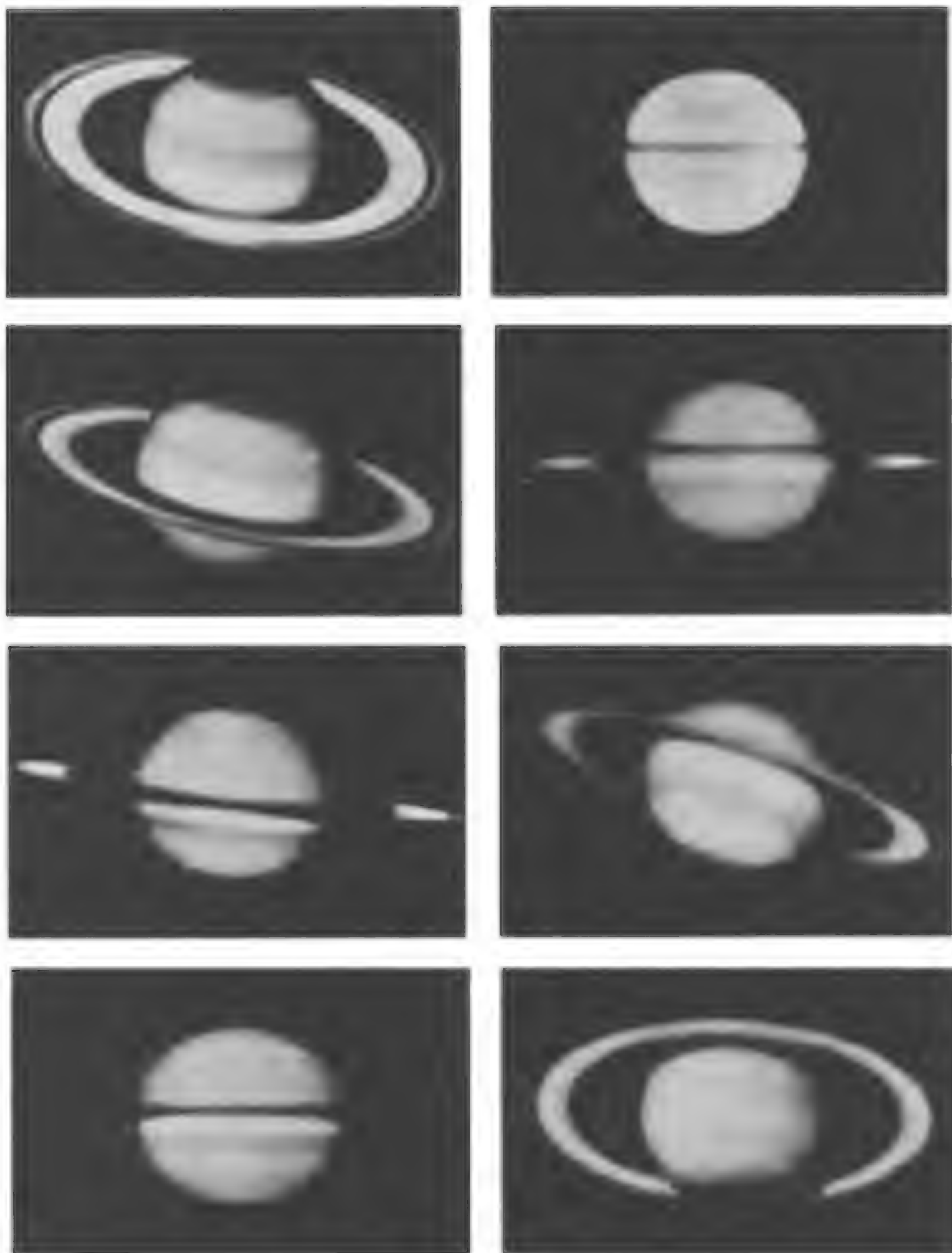
**Рис. 79. Наклонение колец Сатурна**

*Кольца Сатурна наклонены на  $27^\circ$  к плоскости орбиты, по которой планета обращается вокруг Солнца, поэтому наземные наблюдатели видят кольца в различных положениях.*

экватором и плоскостью орбиты составляет  $23,5^\circ$ . Этот наклон определяет смену сезонов на нашей планете. У Сатурна соответствующий угол равен  $27^\circ$ . Конечно, это означает, что на Сатурне также происходит смена сезонов. Но, кроме того, это означает, что вид Сатурна, наблюдаемый с Земли, сильно изменяется. Как показано на рис. 79, наземные наблюдатели временами видят кольца сверху, а затем по прошествии полугода (на Сатурне) — снизу. На рис. 80 приведена серия фотографий, показывающих, как изменяется вид Сатурна при наблюдении с Земли. Когда мы смотрим на кольца с ребра, они становятся незаметными.

В последний раз кольца были видны с ребра в 1966 г. Значительное ослабление яркого света от колец в это время дало возможность открыть десятый спутник Сатурна — Янус, самый близкий к планете, который обращается вокруг нее за внешним краем Внешнего кольца. Янус — крошечный спутник, и его открытие невозможно подтвердить, пока кольца снова не будут видны с ребра — это должно произойти в 1981 г.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> По наблюдениям с борта космических аппаратов «Вояджер» у Сатурна было обнаружено 7 новых спутников. Существование Януса подтверждено не было. Таким образом, в настоящее время известно 16 крупных спутников Сатурна. — Прим. ред.



**Рис. 80. Меняющийся вид Сатурна**

*При обращении Сатурна вокруг Солнца наземные наблюдатели видят кольца под различными углами. Каждые 15 лет нам предоставляется благоприятная возможность видеть кольца с ребра. (Ловелловская обсерватория.)*

Из десяти спутников Сатурна самый большой, Титан, впервые наблюдал еще Гюйгенс в 1655 г. Титан — один из 7 крупнейших спутников в Солнечной системе. Он больше любого из спутников Юпитера, и возможно даже, что по своим размерам он несколько превосходит планету Меркурий. Титан весьма массивен, так что сила тяжести на его поверхности достаточно велика, чтобы удерживать атмосферу. В 1944 г. Кейпер, произведя спектроскопический анализ солнечного света, отраженного от поверхности Титана, показал, что в его атмосфере должен быть метан. Предполагается, что там есть и другие газы.

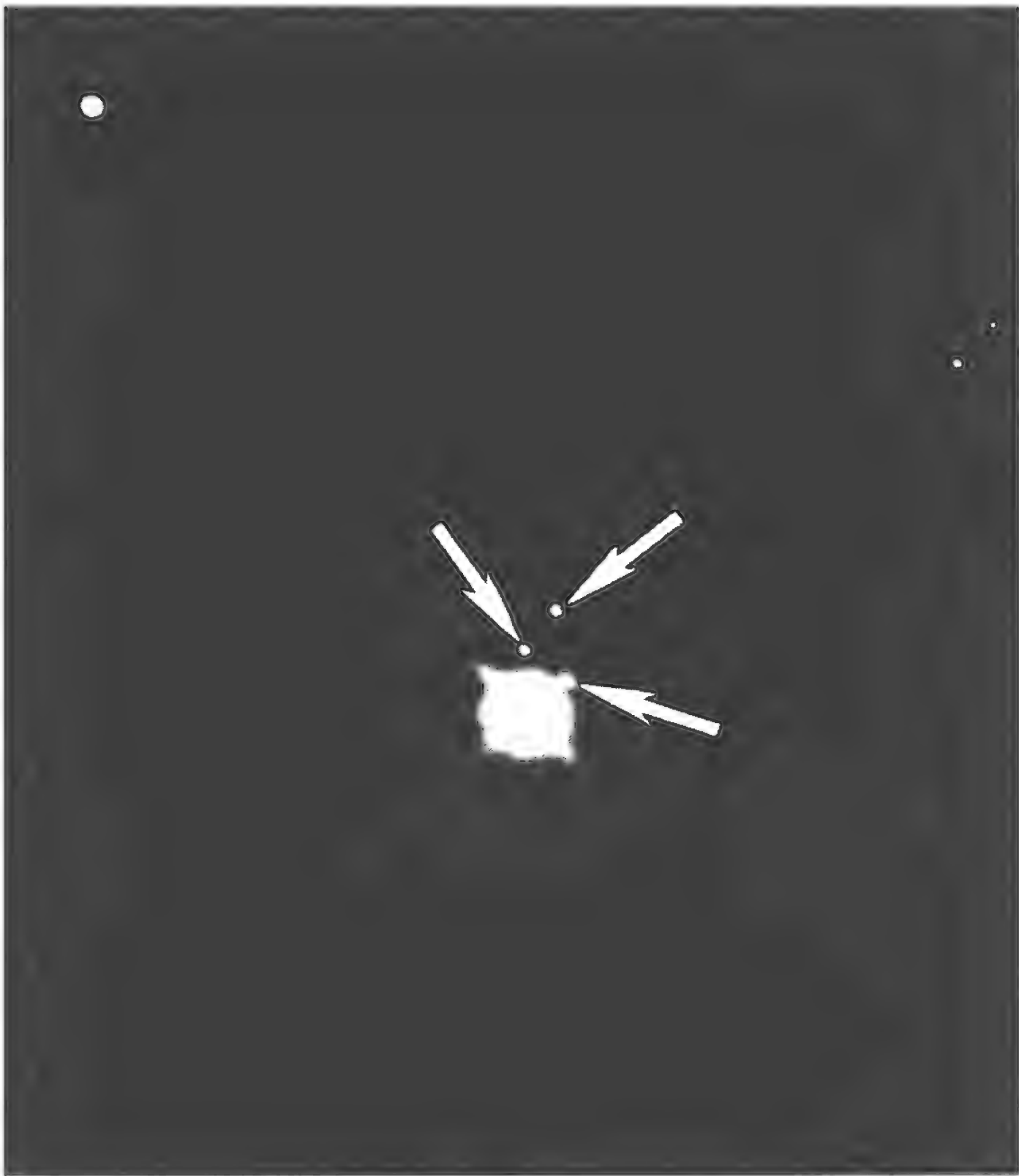
В конце XVII в. Кассини открыл еще четыре спутника Сатурна: Тефию, Диону, Рею и Япета. Наиболее загадочным среди них кажется Япет. В процессе обращения вокруг Сатурна яркость Япета сильно меняется. Очевидно, одна его сторона обладает очень высокой отражательной способностью, а другая — темная и тусклая. Япет был конечной целью экспедиции, описанной в знаменитом научно-фантастическом романе Артура Кларка «Космическая одиссея: 2001». Возможно, космические полеты позволят нам взглянуть на этот мир еще до наступления 2001 г.<sup>1</sup>

Среди остальных спутников Сатурна самый далекий — Феба. Находясь на среднем расстоянии 13 млн. км от Сатурна, Феба делает полный оборот вокруг планеты за 550 дней. Подавляющее большинство спутников в Солнечной системе обращаются вокруг планет в том же направлении, в каком планеты вращаются вокруг своих осей и обращаются вокруг Солнца. Но Феба относится к числу немногих спутников с обратным направлением вращения.

Мимас, принадлежащий к числу ближайших к планете спутников, оказывает непосредственное влияние на структуру колец Сатурна. Мимас делает полный оборот вокруг планеты за 22,6 часа. Вспомним, что твердые

---

<sup>1</sup> В настоящее время получены изображения Япета с близкого расстояния, показывающие область темной окраски на одном из полушарий спутника. — *Прим. ред.*



**Рис. 81. Уран**

*Уран – седьмая планета от Солнца. Находясь от него на расстоянии приблизительно 3 млрд. км, Уран совершает полный оборот по орбите за 84 земных года. Уран имеет пять небольших спутников, три из которых отмечены на фотографии. (Ликская обсерватория.)*

частицы в кольцах Сатурна обращаются вокруг него с периодами от 2 до 15 ч. В частности, если бы в щели Кассини также находились какие-нибудь частицы, период их орбитального движения составлял бы 11,3 ч, что точно равно половине периода обращения Мимаса вокруг Сатурна.

Это объясняет существование щели Кассини. Частицы, находящиеся на таком расстоянии от Сатурна, где сейчас наблюдается щель Кассини, должны были через каждые два оборота вокруг планеты оказываться на одной линии с Мимасом и, следовательно, испытывать со стороны его одно и то же гравитационное воздействие в одном и том же направлении. Хотя Мимас очень мал и каждое отдельное гравитационное воздействие его на такую частицу очень слабо, повторное воздействие в течение миллионов лет должно было привести к тому, что частицы отклонились от своих первоначальных орбит с периодом 11,3 ч и в конечном итоге перешли на какие-то другие орбиты, проходящие внутри колец. В результате и образовался промежуток между кольцами, который в настоящее время называется щелью Кассини.

До последнего времени считалось, что Сатурн — единственная планета Солнечной системы, имеющая кольца. Сегодня мы знаем еще одну планету, у которой есть система колец. Эти кольца были открыты случайно, как, впрочем, и сама планета.

13 марта 1781 г. Уильям Гершель, наблюдая в телескоп некоторую область в созвездии Близнецов, заметил необычную звезду, которая была «заметно больше остальных». Сначала Гершель решил, что это далекая комета. Но последующие наблюдения очень скоро показали, что этот объект движется почти по круговой орбите, лежащей далеко за орбитой Сатурна. Так Гершель случайно обнаружил Уран, седьмую от Солнца планету Солнечной системы.

Хотя Уран был открыт при помощи телескопа, иногда он становится настолько ярким, что виден невооруженным глазом. Но он «открывается» только наблюдателю с прекрасным зрением, который точно знает, в какую область неба следует смотреть, и проводит свои наблюдения в ясную безлунную ночь. В лучшем случае



**Рис. 82. Вид Урана**

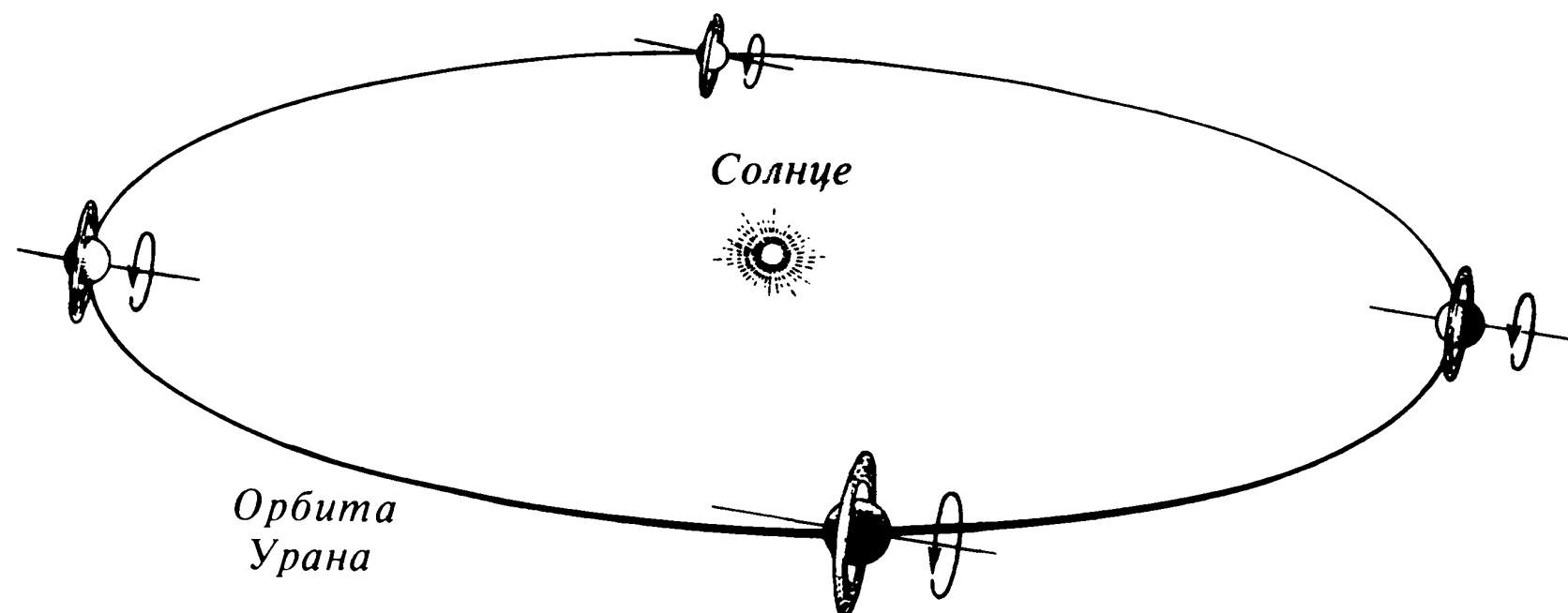
*Это исключительно четкое изображение Урана было получено при помощи телескопа, поднятого на шаре-зонде на высоту 24 км над поверхностью Земли. На планете не заметно сколько-нибудь отчетливых ярко выраженных образований, хотя разрешающая способность аппаратуры позволяла выявить детали размером с континент, т. е. до 2000 км в поперечнике. (Проект «Стратоскоп II», Принстонский университет, финансирован Национальным научным фондом и НАСА.)*

яркость Урана сравнима с яркостью тех тусклых звезд, которые еще удастся различать невооруженным глазом. Действительно, до открытия Гершеля Уран был нанесен как звезда, по крайней мере, на 20 звездных картах.

В телескоп Уран выглядит неким призрачным зелено-вато-голубым объектом, окруженным пятью спутниками. Все спутники довольно малы; три из них показаны на рис. 81. Хотя некоторые наблюдатели сообщали о якобы видимых на поверхности Урана слабых пятнах, при фотографировании никаких деталей пока обнаружить не удалось. В 1970 г. при помощи телескопа, поднятого на шаре-зонде на высоту свыше 24 000 м над землей, была получена фотография Урана исключительно высокого качества. На рис. 82 приведен снимок, составленный более чем из десятка отдельных изображений планеты. Хотя разрешение было достаточно высоким, позволяющим обнаружить детали размером с земной материк, на фотографиях не было замечено никаких образований. Более качественные изображения Урана должны быть получены в январе 1986 г. при пролете вблизи планеты космического аппарата «Вояджер-2».

Замечательной особенностью Урана является то, что он ориентирован совсем иначе, чем другие планеты Солнечной системы. У всех планет оси вращения приблизительно перпендикулярны плоскостям орбит. Небольшие отклонения от перпендикуляра ( $23,5^\circ$  — у Земли,  $24^\circ$  — у Марса,  $3^\circ$  — у Юпитера,  $27^\circ$  — у Сатурна) приводят к смене сезонов. Но ось вращения Урана отклонена от перпендикуляра на  $98^\circ$ , т.е. практически расположена в плоскости орбиты планеты (рис. 83). Это значит, что сезоны на Уране выглядят, на наш взгляд, очень странно. Например, летом в северном полушарии Солнце кажется годами подвешенным почти над головой в точке северного полюса. А с наступлением зимы приблизительно полпланеты погружается в холодную зимнюю «ночь», которая длится десятилетия. В результате такого необычного неравномерного нагревания атмосферы погода на планете весьма причудлива.

Было заранее вычислено, что 10 марта 1977 г. Уран должен пройти перед некой слабой звездой. Это явление, называемое *покрытием*, очень важно для астрономов,



**Рис. 83. Сезоны на Уране**

*Ось вращения Урана наклонена так сильно, что почти лежит в плоскости орбиты, по которой планета движется вокруг Солнца. Необычное положение оси приводит к странным сезонным и погодным изменениям на планете. Например, летом в северном полушарии Солнце «висит» почти над головой в точке северного полюса.*

так как оно дает возможность с большой точностью измерить диаметр планеты. Зная скорость движения планеты по орбите и измеряя время, в течение которого звезда «покрыта» планетой (и, следовательно, свет ее не достигает Земли), можно без особого труда определить диаметр планеты.

Расчеты показали, что лучше всего покрытие должно было наблюдаться из района Индийского океана. На борту самолета, принадлежащего НАСА, группа астрономов из Корнеллского университета приготовилась к наблюдению этого явления. Предполагалось, что все будет как обычно. Но буквально за полчаса перед тем, как покрытие должно было начаться, звезда внезапно пять раз исчезала из виду. Затем произошло покрытие. После этого звезда опять в течение получаса вспыхивала и исчезала еще пять раз. Астрономы, находящиеся на борту самолета, сразу же поняли смысл этого неожиданного явления: Уран окружен пятью тонкими кольцами.

Кольца Урана сильно отличаются от колец Сатур-



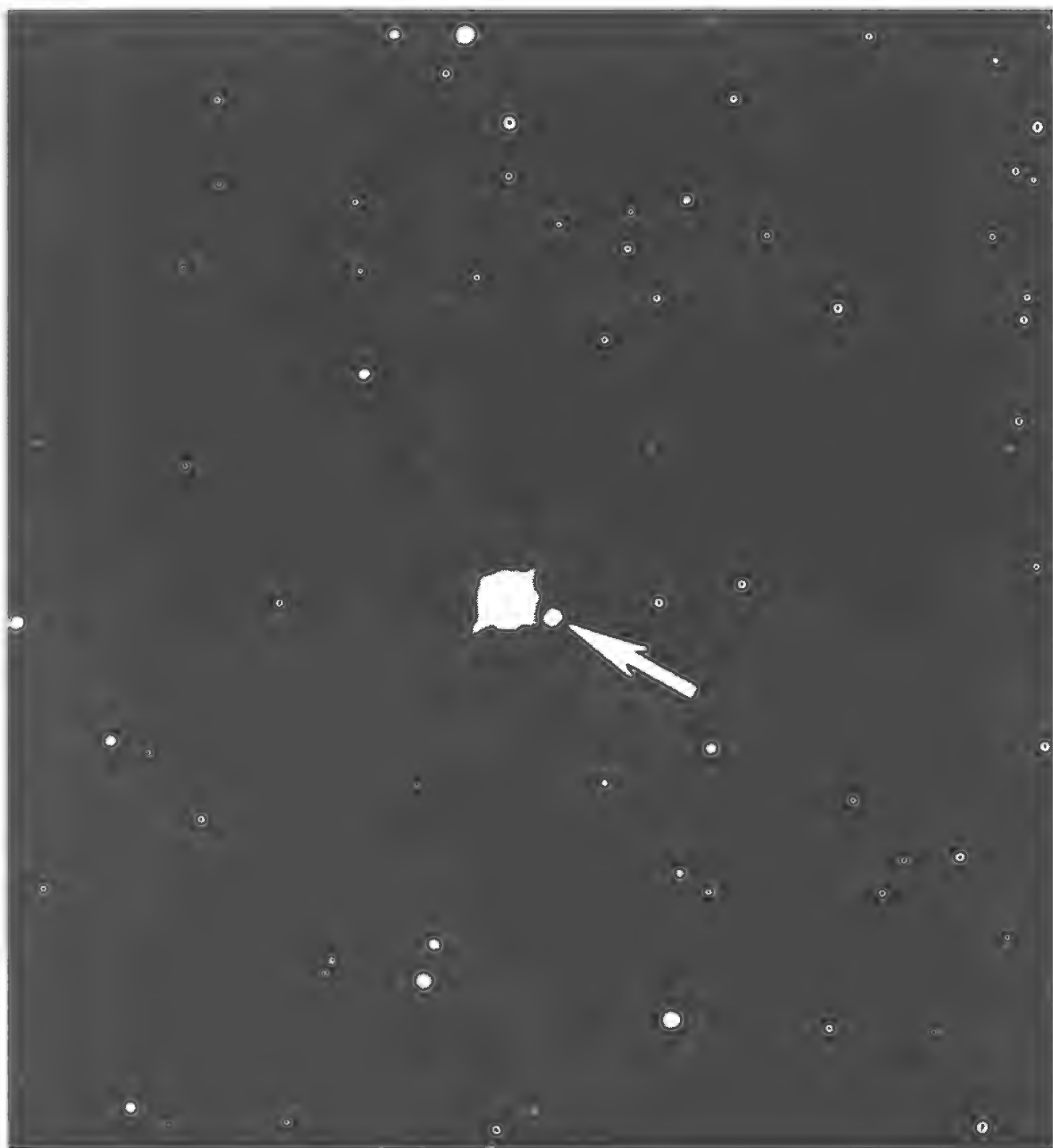
на. Кольца Сатурна очень яркие и широкие. Кольца Урана, наоборот, темные и узкие. В отличие от обладающих высокой отражательной способностью покрытых инеем камней в кольцах Сатурна камни, образующие кольца Урана, отражают свет, как куски угля. Именно поэтому кольца Урана столь долго оставались незамеченными. Кроме того, пять колец Урана очень узки и разделены друг от друга широкими промежутками. Ширина ближайших к планете колец, вероятно, не превышает 10 км, а ширина более протяженного внешнего кольца — примерно 100 км. Самое близкое кольцо находится на расстоянии 18 000 км над верхней границей облачного покрова Урана, а внешнее кольцо расположено на высоте 25 000 км над планетой<sup>1</sup>.

Исторически Урану суждено было сыграть важную роль в науке XIX в. В начале прошлого века было замечено, что Уран неточно следует рассчитанной орбите. До этого времени законы механики Ньютона позволяли вычислять орбиты и положения планет и их спутников с беспрецедентной точностью. Но эта новая планета, казалось, не подчинялась общим правилам. Может быть, законы классической механики просто не действуют на таких больших расстояниях от Солнца?

Убежденность некоторых ученых в непогрешимости законов Ньютона поколебалась. Однако два астронома, Джон Кауч Адамс в Англии и Урбен Жан Жозеф Леверье во Франции, независимо друг от друга пришли к выводу, что небольшое отклонение Урана от ранее вычисленной орбиты, по-видимому, вызвано гравитационным притяжением со стороны неизвестной далекой планеты. Они рассчитали предполагаемое местоположение этой планеты. 23 сентября 1846 г. немецкий астроном Галле из Берлинской обсерватории получил от Леверье

---

<sup>1</sup> В 1979 г. во время пролета аппаратов «Вояджер» вблизи Юпитера у этой планеты также было обнаружено кольцо, подобное кольцу Сатурна. По предварительным оценкам, яркое и очень тонкое кольцо Юпитера имеет внешний диаметр около 252 000 км и толщину менее 1 км. Условия наблюдений кольца Юпитера с Земли неблагоприятны, так как наблюдатель находится практически в плоскости кольца и постоянно видит его только с ребра.—Прим. ред.

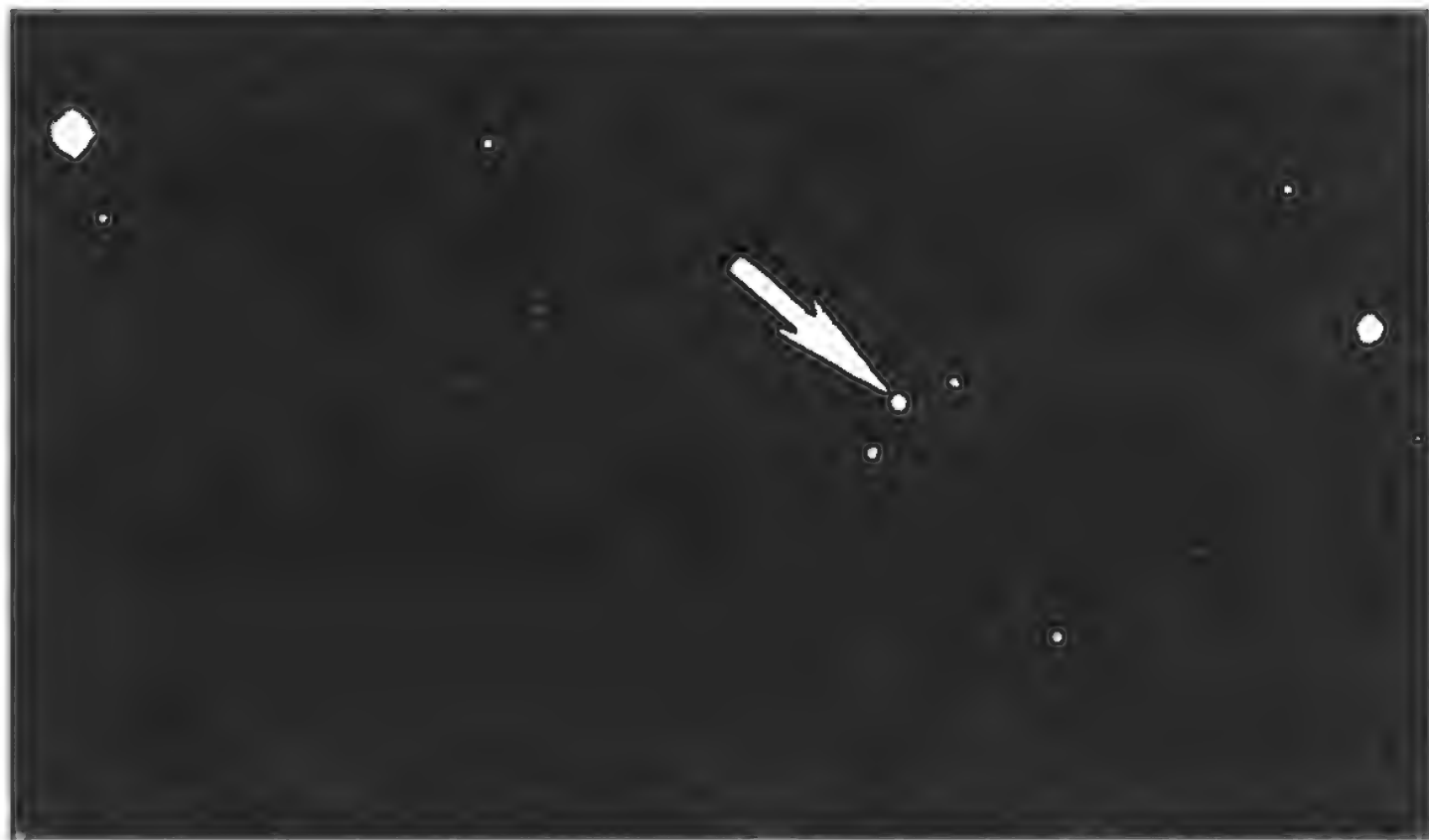


**Рис. 84. Нептун**

*Нептун — восьмая планета от Солнца. Находясь на расстоянии 4,5 млрд. км от Солнца, Нептун совершает полный оборот по орбите за 165 лет. Стрелка на фотографии указывает на Тритон — более крупный из двух спутников Нептуна. (Ликская обсерватория.)*

письмо с указанием места, где должна была находиться неизвестная планета. В ту же ночь Галле увидел Нептун, восьмую от Солнца планету, находящуюся на расстоянии менее  $1^\circ$  от предсказанного местоположения.

Нептун был открыт буквально при помощи каранда-



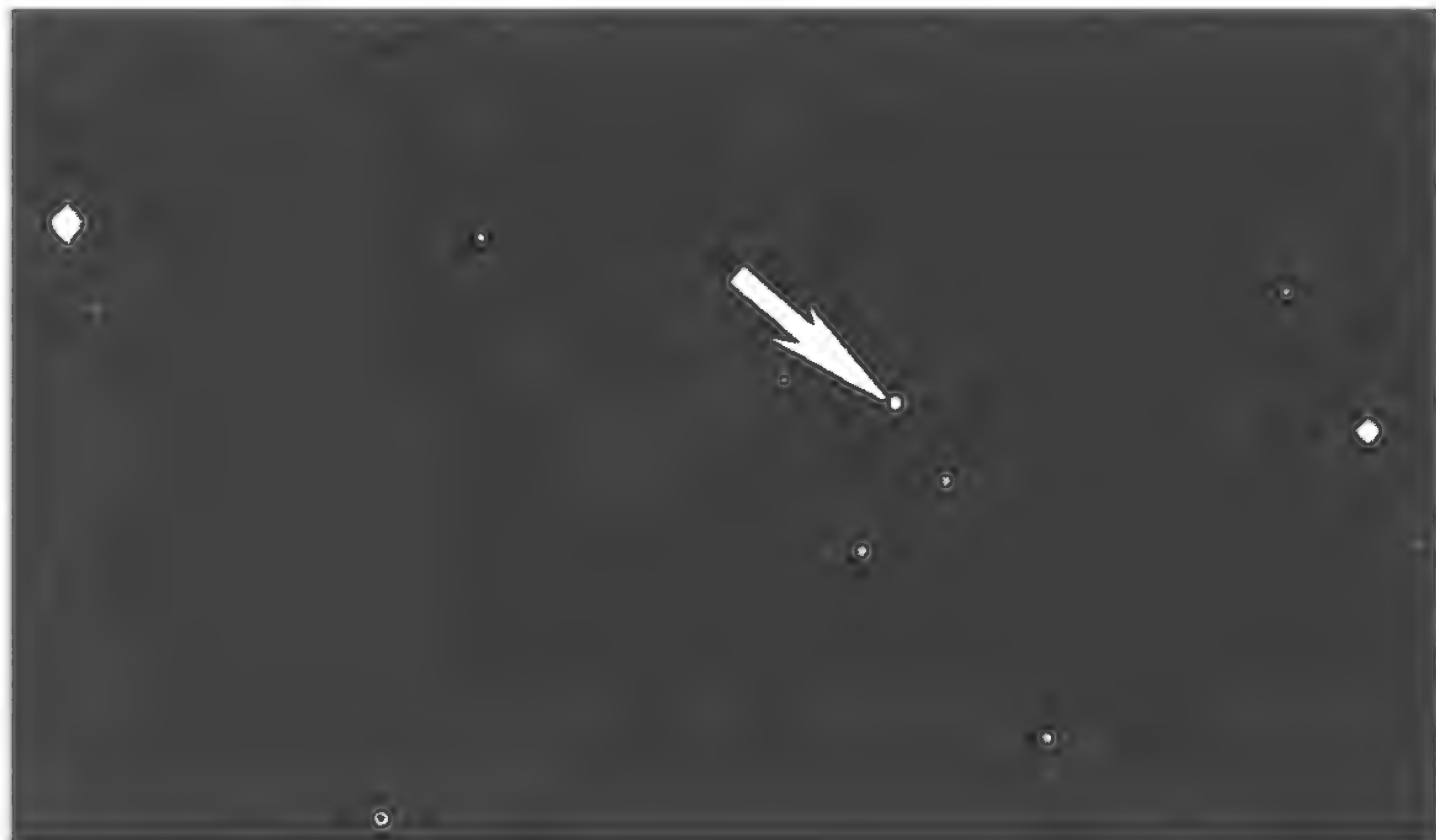
**Рис. 85. Плутон**

*Крошечный Плутон находится так далеко, что выглядит совсем как слабая звезда. Плутон можно распознать как движущийся объект (в отличие от неподвижных звезд), сравнивая фотографии, полученные с интервалом в несколько дней. (Ликская обсерватория.)*

ша и бумаги. Это открытие еще раз подтвердило, что классическая механика и законы Ньютона столь универсальны, что позволяют предсказывать существование не открытых планет.

Во многих отношениях Уран и Нептун «близнецы». Они примерно одного размера, имеют примерно одинаковые массу и плотность, химический состав и структура недр у них также, по-видимому, приблизительно одинаковы. Но Нептун так невероятно далек, что о нем мало что известно. Наблюдение Нептуна с Земли можно уподобить изучению десятицентовой монеты с расстояния в километр.

Вокруг Нептуна обращаются два спутника, один из которых чрезвычайно велик. Это Тритон – самый большой спутник в Солнечной системе. Диаметр Тритона – 6000 км. Для сравнения напомним, что диаметр Меркурия – 4880 км,



а поперечник нашей собственной Луны — всего только 3476 км.

Тритон необычен. Он является одним из редких спутников, которые движутся вокруг своей планеты в обратном направлении. У другого спутника Нептуна, Нереиды, также необычная орбита: это самая вытянутая эллиптическая орбита среди орбит всех спутников в Солнечной системе. Эти особенности наводят на мысль, что в далеком прошлом с Нептуном могло случиться что-то необычайное. Данное мнение подкрепляется также изучением Плутона, девятой, самой далекой от Солнца планеты Солнечной системы.

Плутон был открыт в феврале 1930 г. Клайдом Томбо из Ловелловской обсерватории в результате длительных фотографических поисков. Скоро стало очевидно, что Плутон не укладывается в систему внешних планет-

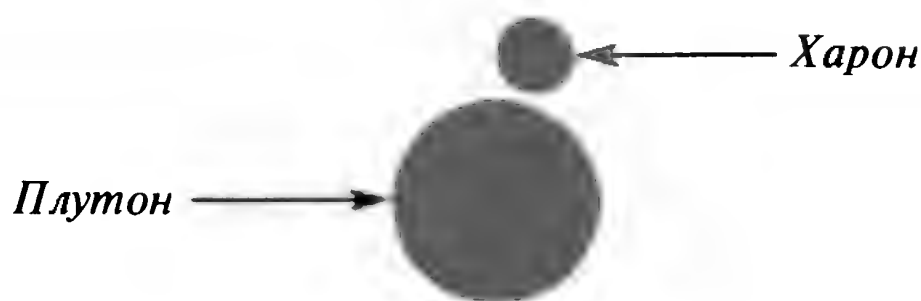
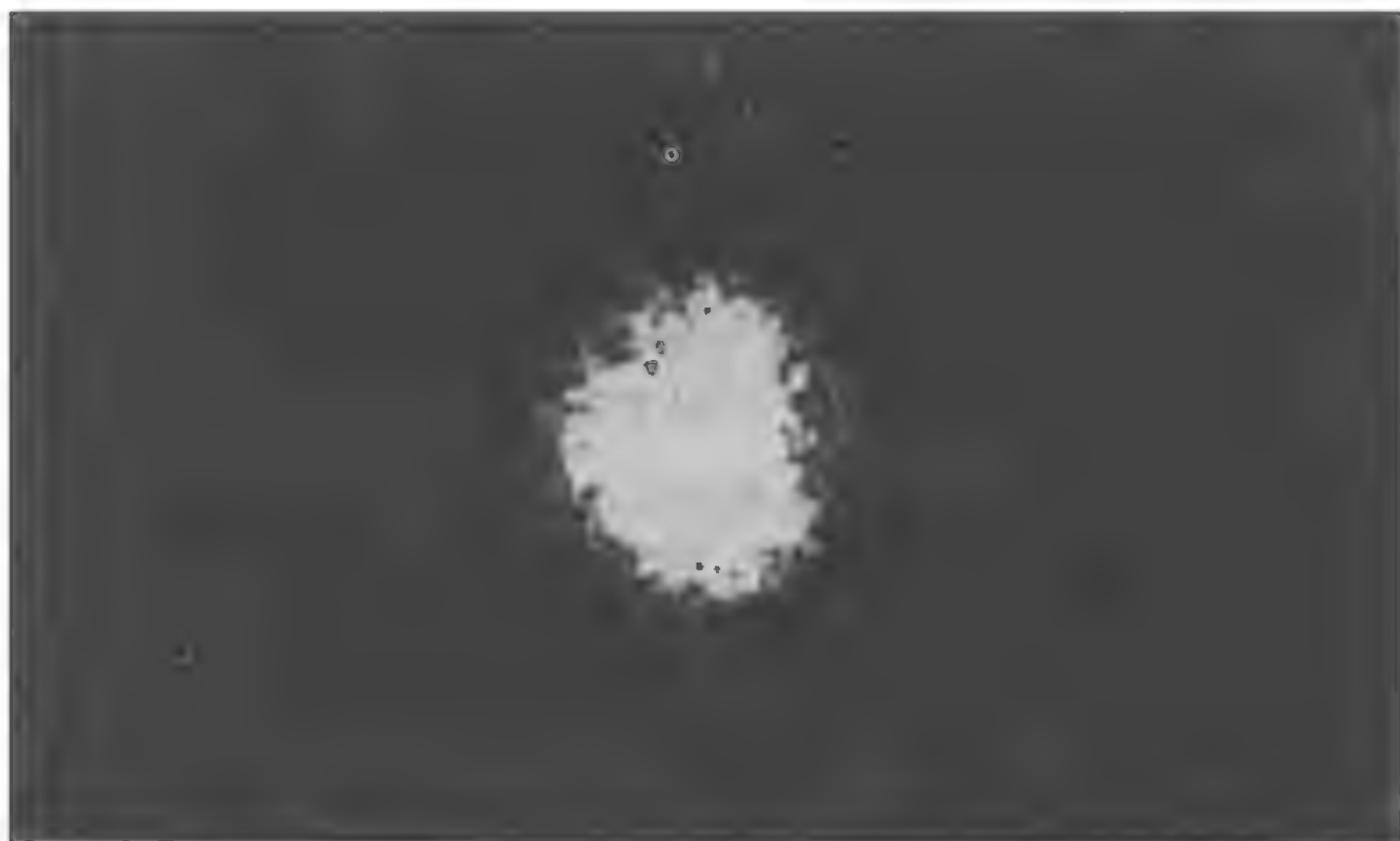
гигантов. Плутон очень мал — даже меньше Меркурия. Кроме того, его эллиптическая орбита значительно более вытянута, чем орбиты остальных планет; она так эксцентрична, что иногда Плутон оказывается ближе к Солнцу, чем Нептун.

В июне 1978 г. Джеймс Кристи из обсерватории ВМС США, исследуя несколько высококачественных фотографий Плутона, заметил нечто необычное. На некоторых фотографиях Плутон казался вытянутым, будто на одной его стороне был небольшой «выступ». После тщательного изучения других полученных ранее фотографий (на некоторых из них также был виден выступ) Кристи и его коллеги пришли к единственному логическому выводу, что они открыли спутник Плутона. Спутник был назван Хароном по имени мифологического персонажа, перевозившего души умерших через реку Стикс в ад — царство Плутона. Фотография Плутона и Харона приведена на рис. 86.

Харон делает полный оборот вокруг Плутона за 6 суток 9 ч 17 мин. Точно за такое же время Плутон обращается вокруг своей оси. Следовательно, Плутон всегда обращен к Харону одной и той же стороной. Столь необычное состояние синхронного вращения планеты вокруг оси и обращения спутника по орбите вокруг планеты наводит на мысль, что форма Плутона отлична от сферической. Возможно, она слегка яйцеобразна.

Учитывая особенности орбит Тритона и Нереиды, спутников Нептуна, а также необычный характер орбиты, по которой Плутон движется вокруг Солнца, некоторые астрономы высказали предположение, что Плутон — это, возможно, «ускользнувший» спутник Нептуна. Действительно, малая плотность Плутона свидетельствует о том, что он состоит из льдов, как и большинство других спутников внешних планет. Возможно, в далеком прошлом с Нептуном произошла какая-то катастрофа, в результате которой орбиты его спутников оказались столь искаженными, а один из спутников просто вышел из области действия силы притяжения Нептуна и превратился в независимую планету — Плутон.

В начале 1978 г. Харрингтон и ван Фландрен из



**Рис. 86. Плутон и Харон**

*Расстояние между Плутоном и его спутником всего лишь 20 000 км, поэтому изображения этих двух далеких крошечных миров на фотографии сливаются. Увеличенное изображение сделано Стюартом Джонсом из Ловелловской обсерватории. (Обсерватория ВМС США.)*

обсерватории ВМС США огласили результаты весьма интересных расчетов. Исходя из предположения о том, что Тритон, Нереида и Плутон когда-то обращались вокруг Нептуна по довольно обычным орбитам, и предполагая далее, что вблизи Нептуна прошло очень большое тело, изменившее орбиты спутников Нептуна, Харрингтон и ван Фландрен с помощью ЭВМ рассчитали, что «в результате тесного сближения некоего массивно-

го тела с Нептуном могли возникнуть орбиты, весьма похожие на орбиты Плутона, Тритона и Нереиды».

После открытия Харона, состоявшегося в том же 1978 г., но несколько позже, Харрингтон и ван Фландрен заявили, что этот спутник, движущийся по синхронной орбите вокруг Плутона, подтверждает их теорию. То же катастрофическое событие не только сорвало Плутон с его древней орбиты вокруг Нептуна, но и разделило его на две части.

Действительно ли произошло когда-то такое столкновение? Важные сведения, которые могут пролить свет на тайну Нептуна, возможно, удастся получить при полете «Вояджера-2» мимо Нептуна в сентябре 1989 г., если только космический аппарат продержится до того времени.

## МЕЖПЛАНЕТНЫЕ СКИТАЛЬЦЫ

На первый взгляд расположение орбит планет в Солнечной системе кажется совершенно случайным. Одни планеты теснятся вблизи Солнца, другие широко разбросаны, двигаясь по своим гигантским орбитам. Астрономы обычно предпочитают измерять протяженность орбит в астрономических единицах. По определению одна астрономическая единица (сокращенно а. е.) — это среднее расстояние между Землей и Солнцем (около 150 млн. км). В таком случае, например, среднее расстояние между Меркурием и Солнцем равно 0,39 а. е., а Плутон находится в сто раз дальше от Солнца — на расстоянии 39,5 а. е.

В 70-х годах XVIII в. Иоганн Боде, директор Берлинской обсерватории, широко пропагандировал простую математическую схему для запоминания расстояний планет от Солнца. Сначала нужно записать последовательность чисел 0, 3, 6, 12, 24..., каждый последующий член которой равен удвоенному предыдущему. Затем к каждому числу прибавить 4 и полученные суммы разделить на 10. Как видно из таблицы 3, окончательная последовательность чисел удивительно близка к размерам орбит планет, выраженным в астрономических единицах.

Эту схему часто называют законом Боде, хотя придумана она была не Боде и не является «законом». Тем не менее закон Боде получил широкую известность, когда в 1781 г. Уильям Гершель открыл Уран. Легко видеть, что истинное расстояние между Ураном и Солнцем очень близко к расстоянию, «предсказанному» законом Боде.



## ПЛАНЕТЫ И ЛУНЫ

Таблица 3

| Закон Бодe            | Планета  | Истинный размер орбиты (а. е.) |
|-----------------------|----------|--------------------------------|
| $(0 + 4)/10 = 0,4$    | Меркурий | 0,39                           |
| $(3 + 4)/10 = 0,7$    | Венера   | 0,72                           |
| $(6 + 4)/10 = 1,0$    | Земля    | 1,00                           |
| $(12 + 4)/10 = 1,6$   | Марс     | 1,52                           |
| $(24 + 4)/10 = 2,8$   | ?        |                                |
| $(48 + 4)/10 = 5,2$   | Юпитер   | 5,20                           |
| $(96 + 4)/10 = 10,0$  | Сатурн   | 9,54                           |
| $(192 + 4)/10 = 19,6$ | Уран     | 19,18                          |
| $(384 + 4)/10 = 38,8$ | Нептун   | 30,06                          |
| $(768 + 4)/10 = 77,2$ | Плутон   | 39,53                          |

Открытие Урана заставило многих поверить, что в законе Бодe содержится нечто большее, чем простая схема для запоминания размеров орбит планет. В частности, некоторые астрономы стали интересоваться, не находится ли какое-нибудь космическое тело на расстоянии 2,8 а.е. от Солнца. И группа немецких астрономов начала тщательное обследование неба в поисках объекта, который мог бы располагаться в пространстве между орбитами Марса и Юпитера.

1 января 1801 г. астроном Джузеппе Пиацци из Сицилии увидел слабую «звезду» в созвездии Тельца, которая не значилась на его звездной карте. Пиацци заметил, что «звезда» от ночи к ночи постепенно меняет свое положение, а это явно указывало, что он открыл объект, который принадлежит Солнечной системе. К концу 1801 г. было установлено, что объект, обнаруженный Пиацци, делает оборот вокруг Солнца за 4,6 года на среднем расстоянии 2,77 а.е., что удивительно близко к «ожидаемому» расстоянию по Бодe. Так, Пиацци открыл первый *астероид*, который был назван Церерой — по имени богини, покровительницы Сицилии.

В марте 1802 г. Генрих Ольберс, член группы немецких астрономов, занимающейся поисками новых объектов, обнаружил еще один слабый звездоподобный объект, который оказался вторым астероидом. Этот асте-

роид называли Палладой. Паллада также делает оборот вокруг Солнца за 4,6 года на среднем расстоянии 2,77 а. е.

В максимуме блеска при наилучших условиях наблюдения Церера и Паллада – чуть слабее самых тусклых звезд, которые удастся различить невооруженным глазом. Но обычно, чтобы увидеть астероиды, нужен телескоп. Отсюда астрономы XIX в. немедленно сделали вывод, что Церера и Паллада – крайне малы. Действительно, хотя Церера и самый большой из астероидов, ее диаметр только 1000 км. Таким образом, ни Цереру, ни Палладу нельзя было рассматривать как «незамеченную планету» Боде. Но поскольку орбиты обоих астероидов почти одинаковы, вскоре стало принято полагать, что планета Боде взорвалась, а открытые астероиды – оставшиеся от нее обломки.

Гипотеза разорвавшейся планеты получила некоторое подкрепление в результате открытия астероидов Юноны (в 1804 г.) и Весты (в 1807 г.). Юнона делает оборот вокруг Солнца за 4,4 года на среднем расстоянии 2,67 а. е. Орбита Весты, обращающейся вокруг Солнца с периодом 3,6 года, чуть меньше; расстояние Весты до Солнца только 2,36 а. е. Предполагалось, что эти астероиды – также обломки «планеты Боде».

Открытие астероидов было в те времена тяжелым и трудоемким делом. С ангельским терпением астрономы тщательно обследовали небеса в поисках слабых, не нанесенных на карту «звезд», положения которых изменялись бы от ночи к ночи. Так, лишь после пятнадцатилетних упорных поисков немецкий астроном Карл Генке открыл в 1845 г. пятый астероид – Астрею. К 1890 г. было найдено и занесено в каталоги всего только 300 астероидов.

Применение фотографии существенно облегчило проблеме поиска астероидов. Отныне больше не было необходимости часами всматриваться в окуляр – нужно было просто произвести фотографирование с большой экспозицией. Если какие-нибудь астероиды случайно оказывались в поле зрения фотокамеры, их изображения выглядели на снимке расплывчатыми следами, которые можно было легко отличить от изображений звезд. Прекрасный пример такой фотографии показан на рис. 87.



**Рис. 87. Два астероида**

*На фотографии звездного неба, полученной с длительной экспозицией, видны расплывчатые следы двух астероидов. Многие астероиды были открыты астрономами случайно при фотографировании различных объектов на небе. (Йеркская обсерватория.)*



**Рис. 88. Фобос**

*Большинство астрономов считают, что типичный астероид представляет собой некое подобие Фобоса — ближайшего спутника Марса. Диаметр Фобоса около 20 км. Фотография была получена с расстояния 480 км при помощи орбитального аппарата «Викинг-1». Наименьший размер деталей, которые можно различить, — 20 м. (НАСА.)*

К настоящему времени официально зарегистрировано около 2000 астероидов и вычислены их орбиты. И вероятно, еще тысячи астероидов оставили следы на бесчисленных фотографиях, полученных в различных обсерваториях мира. Но астрономы-профессионалы считали астероид официально «открытым» только после того, как его орбита была надежно вычислена. А для этого требовалось множество точных наблюдений на протяжении многих ночей. В наши дни это не стоит особого труда.

Все крупные астероиды были открыты давно. Приблизительно у 230 из них диаметры более 100 км. Но, по-видимому, имеются десятки тысяч астероидов, диаметры которых не превышают нескольких километров. Согласно последним оценкам, число таких малых астероидов достигает приблизительно 100 000.

Огромное множество астероидов обращается вокруг Солнца между орбитами Марса и Юпитера. Поэтому эта область Солнечной системы называется *поясом астероидов*. Хотя астероидов очень много, их общая масса очень мала. Все астероиды, собранные вместе, могли бы образовать лишь типичный небольшой спутник, по размерам гораздо меньший планеты.

Старая гипотеза, рассматривающая астероиды как обломки взорвавшейся планеты, время от времени вновь возникает в научно-фантастических романах. Эта гипотеза встречается с серьезными трудностями. Прежде всего, в поясе астероидов явно недостаточно вещества, чтобы из него могла бы сформироваться планета подходящего размера. Вероятно, гораздо разумнее предположить, что астероиды — это объекты, сконденсировавшиеся из вещества первичной солнечной туманности, но так и не объединившиеся в планету. Подобно огромному множеству камней в кольцах Сатурна, так и не соединившихся в спутник планеты, многие тысячи каменных глыб в поясе астероидов также не смогли объединиться вместе, когда в далеком прошлом происходило формирование планет Солнечной системы.

Аналогию с кольцами Сатурна не следует рассматривать как чисто формальную. Напомним, что щель Кассини обусловлена гравитационным воздействием одного

из ближайших спутников Сатурна – Мимаса. Подобным же образом присутствием Юпитера обусловлено наличие щели в поясе астероидов. Юпитер делает оборот вокруг Солнца за 11,86 года на среднем расстоянии 5,20 а.е. Если какой-то астероид обращается вокруг Солнца с периодом, который составляет простую дробь ( $1/2$ ,  $1/3$  и т.д.) от периода Юпитера, то Юпитер и астероид будут регулярно и достаточно часто располагаться на одной линии с Солнцем. Например, астероид, находящийся на расстоянии 3,28 а.е. от Солнца, должен иметь период обращения 5,93 года (это точно половина периода обращения Юпитера вокруг Солнца); при каждом втором обороте по орбите такой астероид должен проходить между Солнцем и Юпитером точно в одном и том же месте. Непрерывное действие сильного притяжения со стороны Юпитера при каждом таком «выравнивании» в конце концов должно привести к тому, что крошечный астероид отклонится от своей первоначальной орбиты. Так и образовалась щель в распределении астероидов.

В поясе астероидов существует семь больших щелей в интервале расстояний 2,2–3,3 а.е. от Солнца. Эти щели называются *пробелами Кирквуда* – по имени американского астронома Дэниеля Кирквуда, который первым заметил их в 1866 г. Каждый пробел соответствует орбите, обращение по которой должно было происходить с периодом, равным простой дроби от периода Юпитера.

Астероиды состоят из твердых каменных пород, в которых иногда содержится значительное количество железа. Спектральный анализ отраженного от астероидов солнечного света показывает, что химический состав астероидов такой же, как у некоторых типов метеоритов. *Метеориты* – это небольшие твердые тела, которые, пройдя через земную атмосферу, упали на поверхность Земли. Большинство метеорных тел, которые сталкиваются с нашей планетой, сгорают в атмосфере (рис. 89), но некоторые из них достигают Земли, и тогда мы получаем возможность исследовать их состав.

По содержанию железа метеориты можно разделить на три обширных класса. Прежде всего, это *каменные метеориты*, содержащие наименьшее количество железа, обычно менее 20%. Как указывает их название, камен-

ные метеориты по существу состоят из того же вещества, что и обычные земные породы. Поэтому такие метеориты очень трудно обнаружить. Астрономы считают, что более 90% метеоритов, сталкивающихся с Землей,—каменные. Но после длительного воздействия земных природных стихий—дождя, ветра и снега—каменные метеориты становится невозможным отличить от земных пород. Поэтому каменные метеориты, подобные экземпляру, приведенному на рис. 90,а, очень редки и ценятся высоко.

Второй большой класс метеоритов—*железокаменные* метеориты. Как следует из их названия, они состоят из смеси примерно равных пропорций минералов и металлического железа. Иногда эти метеориты имеют весьма крупнозернистую структуру (рис. 90,б) и поэтому легко опознаются. Но такие образцы также чрезвычайно редки; среди метеоритных тел, сталкивающихся с Землей, менее 2% относится к этой разновидности.

Третий класс метеоритов—*железные*. Их найти много легче. Они состоят в основном из железа, но могут содержать также 10–20% никеля. К этому типу относится только 6% метеоритных тел, сталкивающихся с Землей. Поскольку такие метеориты содержат железо, их удается обнаруживать при помощи магнитов и триггерных детекторов металла. Поэтому в коллекциях музеев обычно преобладают железные метеориты.

Типичный образец железного метеорита показан на рис. 90,в. Он отполирован и протравлен разбавленной азотной кислотой, что позволяет видеть рисунок взаимопроникающих кристаллов металла. Эти так называемые видманштеттеновы фигуры являются отличительным признаком метеорита. Такие длинные кристаллы металла могли вырасти только при условии, что расплавленная железо-никелевая глыба остывала очень медленно, в течение миллионов лет. Видманштеттеновы фигуры обнаруживаются у большинства железных метеоритов.

Принято считать, что большинство метеоритов непосредственно связано с астероидами. При бесчисленных столкновениях, происходящих в течение миллиардов лет между астероидами в поясе астероидов, образуются осколки, которые движутся по всевозможным орбитам во-

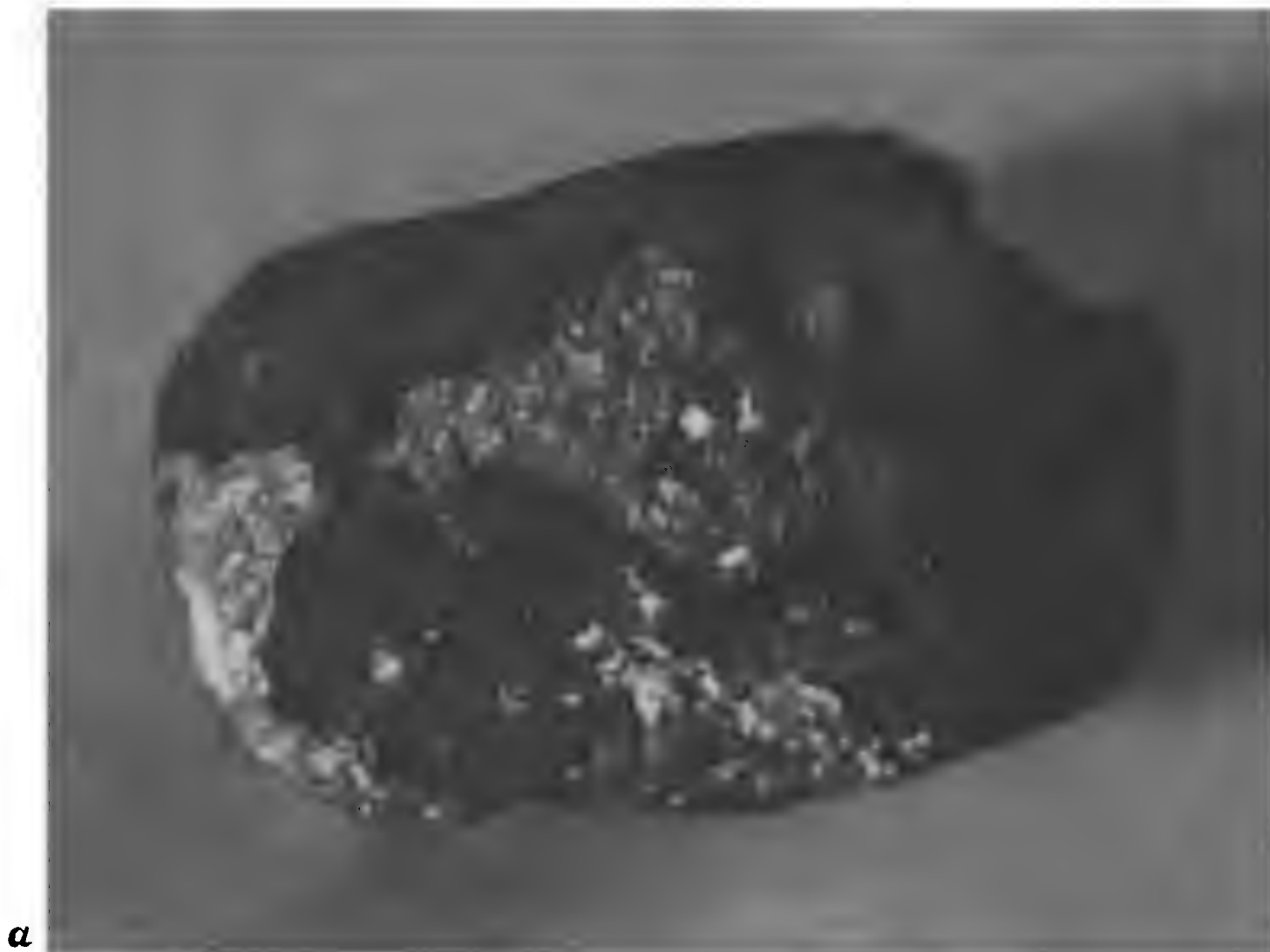




**Рис. 89. Метеор**

*Метеор—это светящийся след в небе, который возникает, когда крошечная метеорная частица с большой скоростью проникает в земную атмосферу. Большинство метеорных частиц—не более песчинки, и они полностью испаряются быстрее чем за секунду. (Йеркская обсерватория.)*





**Рис. 90,а. Каменный метеорит**

Этот метеорит, упавший в Мексике, имеет размер с теннисный мяч. Это особенный каменный метеорит — углистый хондрит, который состоит из самого древнего вещества в Солнечной системе. (Коллекция Рональда А. Орайти, Гриффитская обсерватория.)

**Рис. 90,б. Железокаменный метеорит**

Этот метеорит, называемый палласитом, упал в Чили. Он состоит из смеси кусков минералов (в данном случае из оливина), заключенных в металлической железоникелевой матрице. (Коллекция Рональда А. Орайти, Гриффитская обсерватория.)

**Рис. 90,в. Железный метеорит**

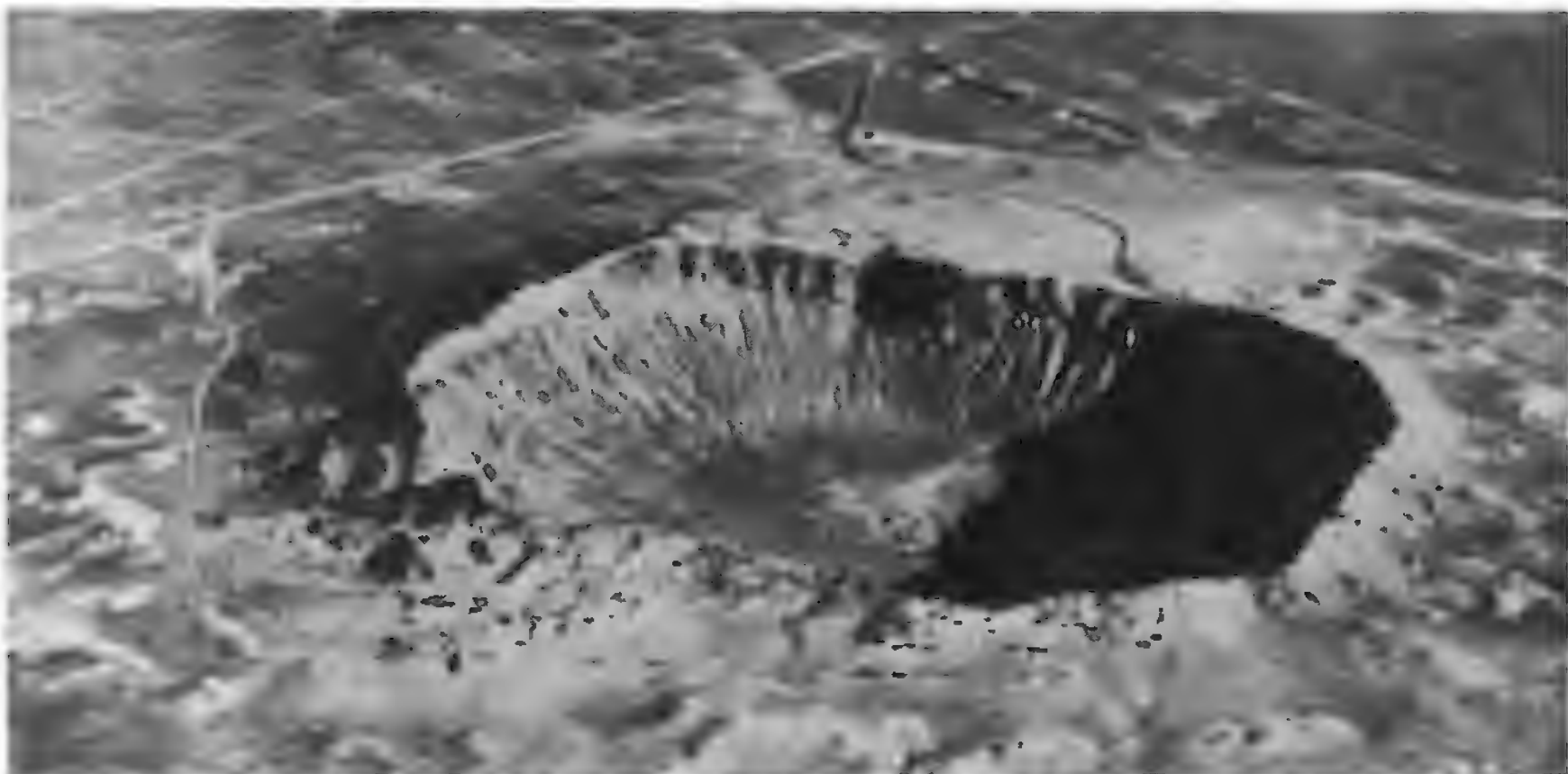
Этот метеорит, называемый октаэдритом, упал в Австралии. Если разрезать такой метеорит, отполировать и протравить кислотой, то на срезе выступает рисунок взаимопроникающих кристаллов металла, как видно на этом образце. (Коллекция Рональда А. Орайти, Гриффитская обсерватория.)



6



6



**Рис. 91. Метеоритный кратер**

*В очень редких случаях на Землю падают исключительно большие метеориты. Этот кратер был образован 22 000 лет назад огромным метеоритом, упавшим в Аризоне. Кратер достигает около полутора километров в поперечнике. В окрестностях кратера было найдено 25 т железных метеоритов. (Из книги *Geology Illustrated* by George S. Shelton. W.H. Freeman and Company, © 1966.)*

круг Солнца. Некоторые из этих орбит пересекают орбиту Земли, и в конечном счете осколки астероидов, называемые метеоритами, мы находим лежащими на земле.

Анализируя спектр солнечного света, отраженного от астероидов, и спектр света, отраженного от лабораторных образцов метеоритов, можно получить правильное представление о составе астероидов, из которых эти метеориты образовались. В 10% случаев свет, отраженный от некоторых астероидов, по своему спектральному составу очень напоминает свет, отраженный от железокаменных метеоритов. Эти железокаменные астероиды — довольно крупные (100–200 км в диаметре) и преимущественно находятся во внутренних частях астероид-

ного пояса, вблизи орбиты Марса. Приблизительно такой же процент астероидов по своему составу сходен с железными метеоритами. Но огромное большинство (около 80%) астероидов, по-видимому, состоит из того же вещества, что и каменные метеориты некоего особого типа, называемые *углистыми хондритами*.

В углистых хондритах необычно высоки концентрации летучих составляющих, таких, как вода, и, кроме того, в них содержатся органические молекулы. Это означает, что метеоритные тела не подвергались нагреву, сжатию или какому-либо иному существенному изменению с тех пор, как сконденсировались из первичной Солнечной туманности 4,5 млрд. лет назад. Например, при любом значительном нагреве вода должна была бы полностью испариться из вещества метеорита, органические молекулы были бы абсолютно разрушены. Поэтому астрономы считают, что углистые хондриты чрезвычайно древние — старше любых пород, найденных на Земле или на Луне. Углистые хондриты (рис. 90,а) представляют собой неизменные образцы первичного вещества, из которого состояли планетезимали.

Изучение метеоритов позволяет нам проникнуть в древнейшую историю нашей Солнечной системы. В конце 70-х годов группа ученых из Калифорнийского технологического института изучала образцы двухтонного метеорита, упавшего в Мексике в 1969 г. Ученые обнаружили в составе вещества метеорита аномально высокое содержание кальция, бария и неодимия. Как известно из ядерной физики, такие характерные аномалии могли образоваться только в результате облучения атомов вещества потоком нейтронов. Мощное нейтронное излучение действительно сопровождает взрывы сверхновых. Поэтому логично предположить, что сотворению нашей Солнечной системы способствовал взрыв сверхновой. Ударные волны, образовавшиеся при взрыве близкой массивной звезды, привели к слабому сжатию разреженной межзвездной среды в ее окрестностях. Начиная с этого момента в действие вступили силы тяготения, которые и могли в конечном итоге привести к образованию Солнца и планет.

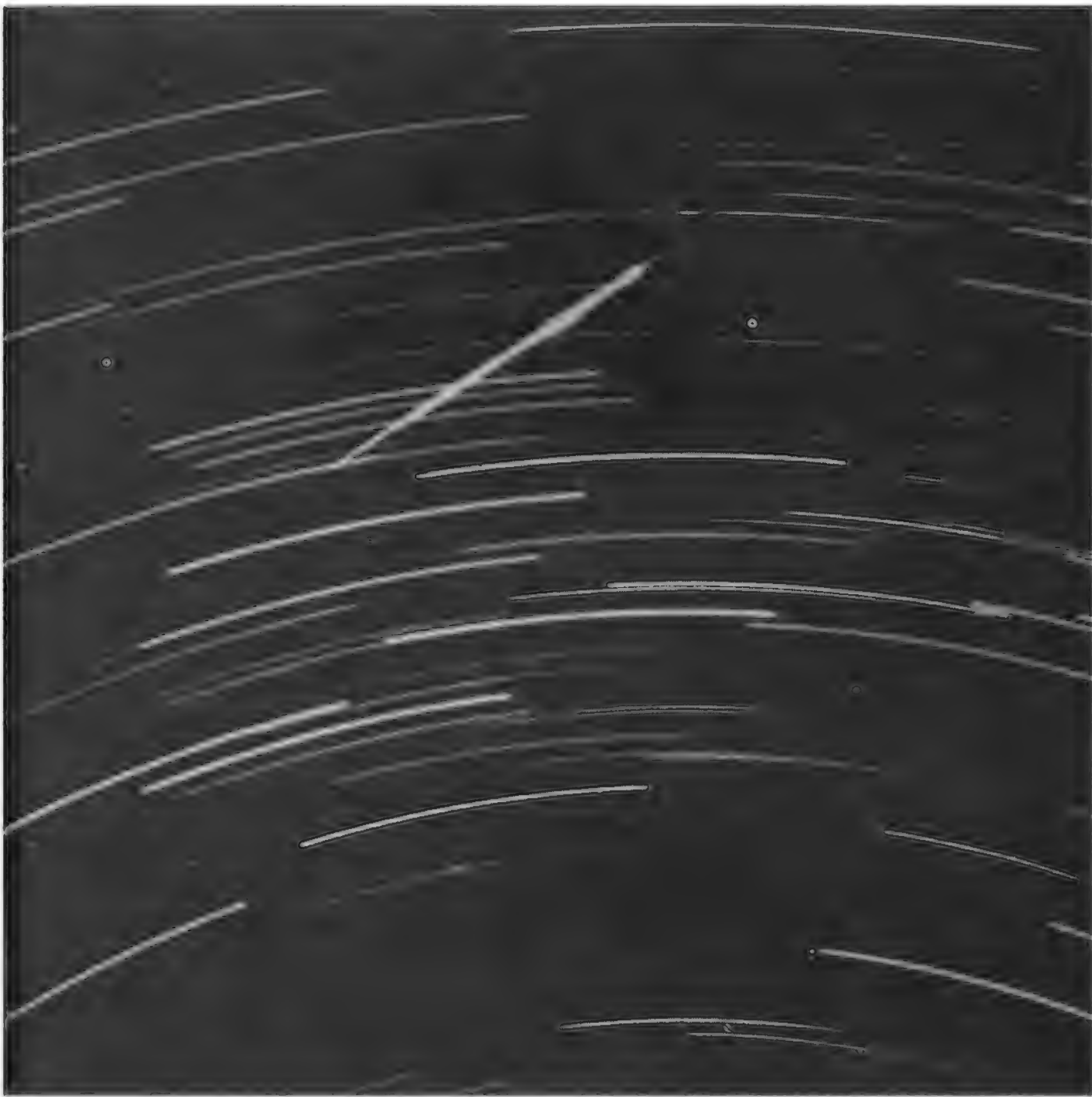
Большая часть метеоритов попадает к нам из пояса

астероидов. *Метеоры* имеют в основном иное происхождение. Метеор, или «падающая звезда», — это просто светящаяся черточка, возникающая в небе при движении с высокой скоростью метеорной частицы, сгорающей в атмосфере Земли. Метеориты, как мы уже говорили, — это плотные метеорные тела, которые смогли «выжить» при прохождении через атмосферу, не испарившись целиком. Напротив, метеоры, очевидно, возникают преимущественно из рыхлых метеорных тел с малой плотностью, образующихся из комет.

Удивительно много метеоритного вещества выметается с поверхности Земли в результате ее обращения вокруг Солнца. В самом деле, *ежедневно* на Землю падает около 3000 т межпланетного вещества. Большая часть этого вещества находится в виде пылевых частиц (называемых микрометеоритами), которые слишком малы и легки, чтобы произвести свечение в атмосфере. Эти частицы просто медленно проходят через атмосферу и оседают на Землю. Образцы такого межпланетного вещества можно собрать в незагрязненных районах земного шара, например в арктических и антарктических областях. Некоторое количество межпланетной пыли можно даже обнаружить на крыше дома или в стоке водосточной трубы.

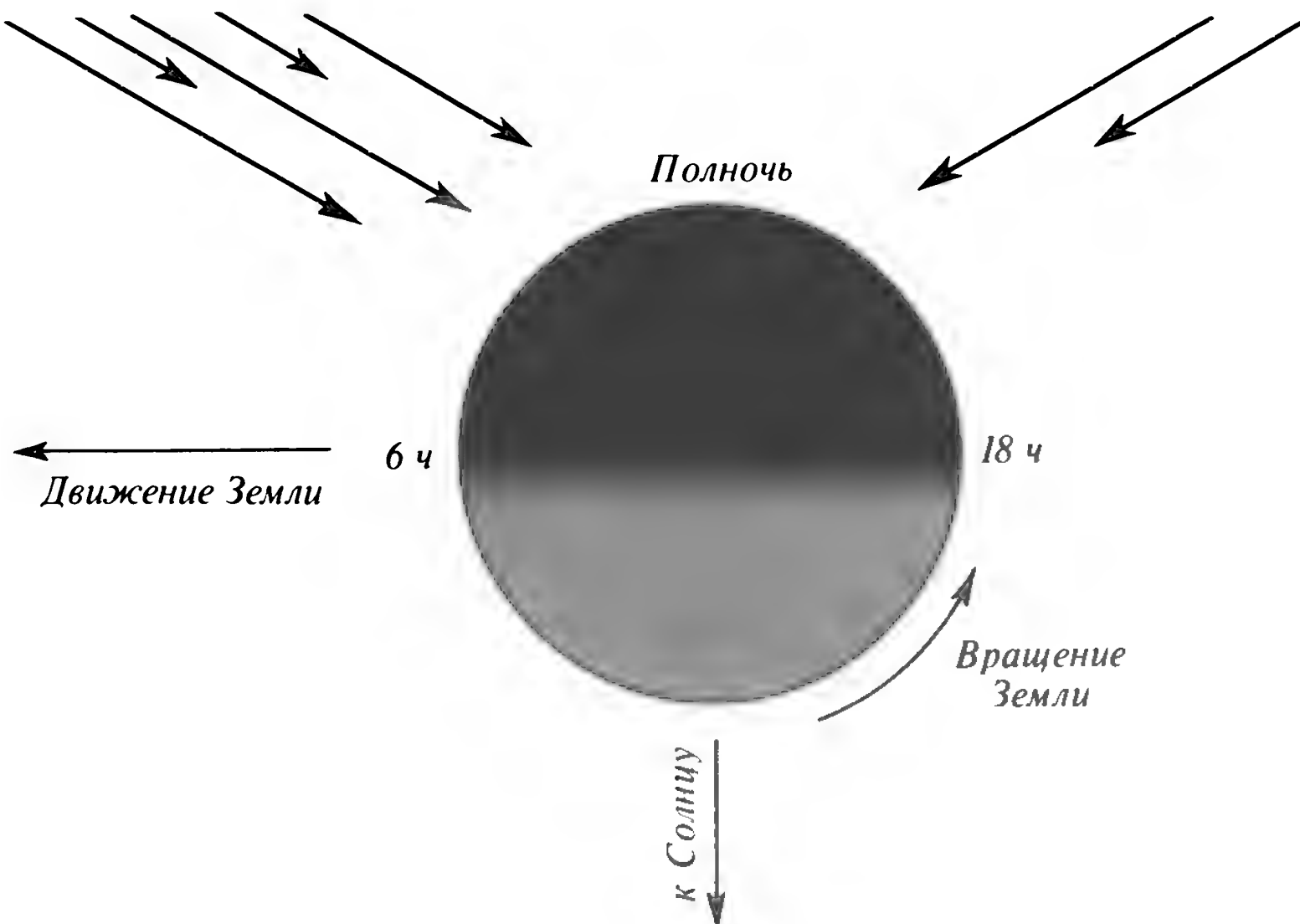
Хотя большая часть межпланетного вещества, с которым сталкивается Земля, находится в состоянии пыли, иногда мы проходим через потоки более крупных частиц. Тогда-то и наблюдаются *метеорные потоки*. Ежегодно на Земле можно наблюдать около десятка метеорных потоков. При этом обычно кажется, что метеоры разлетаются из какой-то определенной части неба. Поэтому потоки называют по созвездию, наиболее близко расположенному к этой части неба. В табл. 4 приведены некоторые наиболее значительные потоки и даты максимума их активности.

В ясную безлунную ночь в период максимума потока обычно можно увидеть до 60 метеоров за час. Иногда метеорные потоки достигают исключительно высокой интенсивности. Так, рано утром 17 ноября 1966 г. в восточной части США наблюдалось более 2000 метеоров в минуту.



**Рис. 92. Метеор**

*Метеоры легко фотографировать, укрепив камеру на штативе и оставив затвор объектива открытым. Вследствие вращения Земли звезды оставляют на небе следы в виде дуг, как показано на этом снимке. (Рональд А. Орай-ти. Гриффитская обсерватория.)*



**Рис. 93. Утренние и вечерние метеоры**

Обычно больше всего метеоров наблюдается после полуночи. В часы раннего утра мы находимся на передней по ходу движения стороне Земли, которая сталкивается с роем метеорных частиц «в лоб». Вечерние метеоры создаются только быстро движущимися метеорными частицами, которым удается «догнать» Землю.

Наилучшее время для наблюдения метеоров – раннее утро. В это время наблюдатель находится на «ведущей» стороне Земли (рис. 93). Ситуация в этом случае напоминает поездку на машине по открытому шоссе во время ливня: по переднему стеклу («ведущая» сторона машины) барабанит много больше дождевых капель, чем по заднему. Метеоры же, наблюдаемые в вечерние часы, создаются метеорными частицами, которые должны двигаться достаточно быстро, чтобы догнать Землю.

В окрестностях Солнечной системы рассеяно много космической пыли. Согласно оценкам, общая масса этих

Таблица 4

| Поток    | Дата максимума активности |
|----------|---------------------------|
| Лириды   | 22 апреля                 |
| Персеиды | 12 августа                |
| Ориониды | 21 октября                |
| Леониды  | 17 ноября                 |
| Геминиды | 13 декабря                |

мельчайших частиц пыли составляет приблизительно 25 триллионов тонн. Примерно такую массу имеет небольшой астероид. Однако под действием солнечного ветра и солнечного света, а также в результате столкновения с планетами, обращающимися по своим орбитам, большая часть межпланетной пыли постоянно выметается и выдувается из Солнечной системы. *Ежесекундно* из межпланетного пространства выбрасывается около 8 т пыли. Это означает, что примерно 8 т межпланетной пыли должно ежесекундно поступать в Солнечную систему, иначе вся пыль давно бы исчезла. Частично пополнение осуществляется за счет астероидов, которые измельчаются и распыляются при столкновениях. Но основной вклад здесь вносят кометы.

Кометы – одни из самых прекрасных объектов, наблюдаемых на небе. Ежегодно обнаруживается более десятка комет, хотя большинство из них остаются столь слабыми, что их нелегко увидеть невооруженным глазом. Но иногда какая-нибудь из этих призрачных гостей проходит достаточно близко от Солнца и Земли, и тогда нашим глазам открывается красивейшее зрелище. Несколько ночей (а порой и недель) виден прекрасный струящийся хвост кометы, дугой изгибающийся по небу.

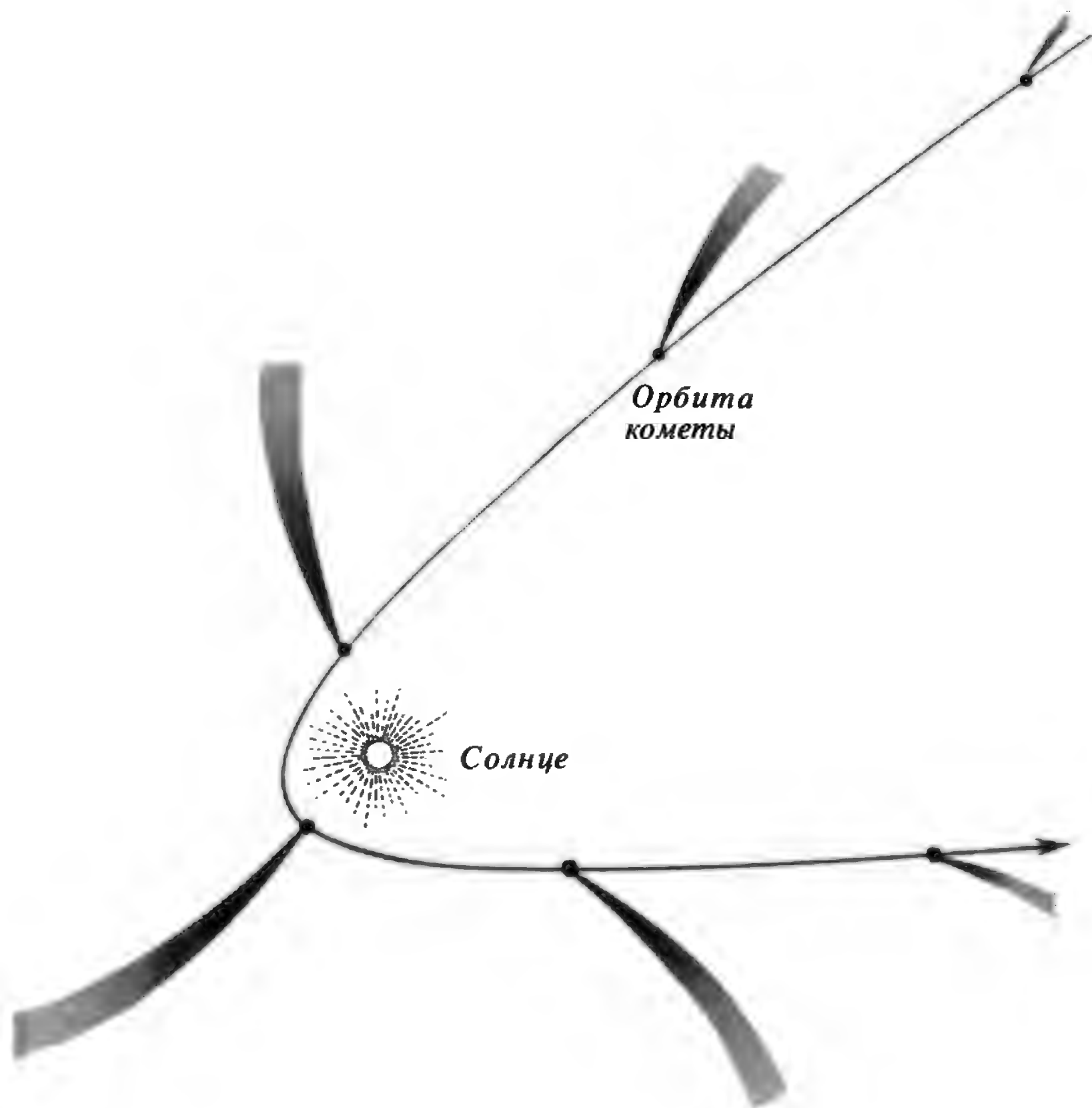
Кометы бывают всевозможных форм и размеров. Одни – короткие, словно обрубок, другие – длинные и тонкие. Тем не менее все они обладают некоторыми общими основными чертами. Твердая часть кометы, называемая *ядром*, очень мала – обычно менее 15 км в диаметре. Ядро состоит из частиц пыли и льда – представ-





**Рис. 94. Комета**

*Это комета Икейа–Секи, получившая свое название в честь открывших ее японских астрономов; комета наблюдалась в октябре 1965 г. У нее была крошечная голова и исключительно длинный хвост. Во время фотографирования длина хвоста кометы достигала примерно 160 млн. км, т. е. приблизительно была равна расстоянию между Землей и Солнцем. (Ликская обсерватория.)*



**Рис. 95. Орбита кометы и направление ее хвоста**

*Кометы проходят через Солнечную систему по крайне вытянутым орбитам. Когда комета находится вблизи Солнца, лед в ее ядре испаряется и газообразное вещество образует длинный струящийся хвост. Из-за действия солнечного ветра хвост всегда направлен от Солнца, как показано на рисунке.*



**Рис. 96. Комета Мркоса**

*У некоторых комет явно заметны два хвоста. Один из них состоит из ионизированных атомов и солнечным ветром отталкивается в направлении от Солнца. Другой хвост состоит из пылевых частиц и выглядит как изогнутое туманное образование. (Обсерватория им. Хейли.)*

ляет собой «грязный айсберг». Когда комета приближается к Солнцу, частицы льда испаряются и начинают светиться под действием солнечного света. Вскоре вокруг ядра образуется светящийся газовый шар, называемый *комой*. Наконец, когда комета стремительно подходит еще ближе к Солнцу, газы «сметаются» в длинный струящийся *хвост*. В результате действия солнечного ветра и давления излучения хвост кометы всегда направлен от Солнца (рис. 95).

Кометы приближаются к Солнцу по сильно вытянутым эллиптическим орбитам с самых различных направлений. Многие из этих орбит столь велики, что комете требуется от 100 000 до 1 млн. лет, чтобы совершить полный оборот вокруг Солнца. Однако ежегодно астрономы наблюдают по крайней мере десяток комет во внутренних областях Солнечной системы (почти невозможно обнаружить комету, которая находится дальше Юпитера). И конечно, множество более слабых комет проходят совсем незамеченными. Отсюда следует, что общее число комет должно быть огромно. Кроме того, кометы проводят большую часть своего времени чрезвычайно далеко от Солнца, очень медленно двигаясь по самым отдаленным участкам своих вытянутых орбит. Это означает, что Солнечная система должна быть окружена целым роем комет. Впервые подобное предположение высказал голландский астроном Оорт. Этот рой, называемый *облаком Оорта*, простирается до расстояний 50 000 а.е. и окутывает Солнечную систему подобно огромному сферическому гало. Облако Оорта включает до 100 млрд. комет.

Некоторые кометы двигаются по столь вытянутым орбитам, что они только однажды проходят мимо Солнца и исчезают в глубинах межзвездного пространства, где, возможно, будут захвачены какой-либо другой звездой. Разумеется, некоторые кометы попадают к нам из других планетных систем, неся на себе следы неведомых миров. Приближаясь к Солнцу, они теряют пыль и лед, пополняя запас межпланетных обломков, которые Земля выметает до 3000 т в день. Несомненно, какое-то количество пыли, которая оседает на наши города и дома и присутствует в воздухе, которым мы дышим, приходит из далеких миров, где, возможно, есть живые существа, которые, как и мы, следят за небесами.

---

# ЭПИЛОГ

Молекулы, которые могут служить «строительными блоками» для живых организмов, в изобилии разбросаны в межзвездном пространстве. В последние годы радиоастрономы обнаружили слабые сигналы в радиодиапазоне, испускаемые десятками органических молекул различных видов; среди них встречаются и молекулы такого типа, которые принимают непосредственное участие в биологических процессах, происходящих на Земле. Радиоастрономы оптимистически полагают, что со временем они смогут обнаруживать в космическом пространстве органические молекулы почти *любого* известного нам вида. По мнению некоторых специалистов, обнаружение аминокислот в межзвездных облаках — это, возможно, «просто вопрос времени». Аминокислоты — основные составляющие белков, образующих молекулу ДНК. Несколько видов аминокислот уже обнаружено в углистых хондритах.

В нашей Галактике имеется множество планет, где могут существовать условия, пригодные для жизни. У нас нет прямых доказательств существования обитаемых планет вне Солнечной системы, однако, согласно современным представлениям об эволюции звезд, образование планетных систем должно быть обычным процессом во Вселенной. Вполне естественно предположить, что образованием планет сопровождается рождение всех звезд с небольшой массой, подобных Солнцу. Разумеется, на многих планетах протекание биологических процессов может оказаться невозможным. Так, температура на поверхности планет, расположенных близко к звезде, слишком высока, чтобы там могли существовать длинные цепи органических молекул, формирующих живые ор-

ганизмы. И наоборот, на планетах, очень далеких от звезды, температура должна быть столь низкой, что биохимические реакции просто не могут происходить. Тем не менее должны быть сотни миллионов планет, которые обращаются вокруг своих звезд на расстояниях, обеспечивающих подходящие условия для зарождения жизни.

Нам известен всего лишь единственный случай, когда жизнь возникла на одной из таких «подходящих» планет. И конечно, невозможно строить далеко идущие обобщения на основе одного примера. Однако следует отметить несколько интересных фактов.

Прежде всего, жизнь появилась на Земле на самых ранних этапах ее развития. Ископаемые остатки простейших одноклеточных организмов (подобных бактериям или сине-зеленым водорослям) были обнаружены в породах, возраст которых насчитывает 3,5 млрд. лет. Эти организмы довольно сложны и, значит, должны были развиваться из более примитивных живых форм. Но возраст Земли составляет только 4,5 млрд. лет, и должно было пройти несколько сотен миллионов лет, прежде чем температура на поверхности Земли достаточно понизилась и образовались первичные океаны. Следовательно, первичные формы жизни возникли на нашей планете всего только через несколько сотен миллионов лет после того, как она стала пригодной для обитания. Как по геологическим, так и по астрономическим масштабам несколько сотен миллионов лет — очень короткий промежуток времени. По-видимому, столь давнее и довольно быстрое возникновение жизни на Земле убедительно свидетельствует о том, что жизнь развивается на любой планете, где сохраняются подходящие условия.

Но какие формы жизни могут развиваться? В научно-фантастических произведениях изображалось невероятное разнообразие живых существ. Все ли они равновероятны? И снова, чтобы попытаться ответить на этот вопрос, нам следует обратиться к примеру нашей Земли.

Основой жизни на Земле является углерод. Высказывались предположения, что основой иных форм жизни могут служить кремний и даже азот. Но земная жизнь основана на химии углерода, хотя кремний распространен

на Земле более широко. Кремний — основной элемент земной коры. А большую часть земной атмосферы составляет азот. Несмотря на это, на Земле *отсутствуют* формы жизни, основанные на кремнии или азоте, хотя они вполне могли бы развиваться в течение минувших 4,5 млрд. лет. Во многих отношениях атомы углерода химически наиболее гибки. Они идеально приспособлены для построения сложных гигантских макромолекул. А биологически активные молекулы *должны* иметь сложную структуру, в которой могло бы быть закодировано огромное количество информации, необходимой для формирования живого существа. По этим причинам химия углерода — это химия жизни. Поэтому, скорее всего, инопланетные формы жизни, подобно земным, должны быть основаны на атоме углерода.

И наконец, следует предполагать, что естественный процесс эволюции неизбежно способствует развитию разума. Если, например, на планете обитают два похожих живых существа, и одно из них обладает более развитым «интеллектом», чем второе, то при прочих равных условиях оно может лучше приспосабливаться к окружающей обстановке и тем самым обеспечивать выживание своего потомства. Это, конечно, не гарантирует долговечности человеческого рода. Так, акулы обитают на Земле уже сотни миллионов лет, а пребывание человечества на ней может оказаться куда более кратковременным. Но общая направленность эволюции от простейших микроорганизмов к человеку была неизбежной. Из этих рассуждений логически следует, что в нашей Галактике существовало (или, возможно, еще существует) большое разнообразие разумных существ.

Не исключено, что когда-нибудь мы примем сигналы, посылаемые более развитыми живыми существами. Некоторые астрономы в самом деле уже начали систематически обследовать небо в поисках сигналов от внеземных цивилизаций. Однако, к сожалению, астрономы-профессионалы не выработали согласованной линии поведения или плана дальнейших действий на тот случай, если кто-то из их коллег достигнет успеха. По мнению многих ученых, сообщение инопланетян, которое удалось бы распознать, могло бы состоять, например, из наборов

простых чисел 1, 2, 3, 5, 7, 11, 13 ... или из математического соотношения типа  $a^2 + b^2 = c^2$ , выражающего сущность теоремы Пифагора. Серия точек и тире, содержащая информацию подобного типа, поступившую от некоторых звездных систем, действительно могла бы служить доказательством существования там разумных существ. В конце концов, именно такого рода сообщения мы сознательно посылаем в космическое пространство, стремясь сообщить о нашем существовании. Но, конечно, есть и другие возможности.

Предположим, вы подошли к шимпанзе и объявили, что  $a^2 + b^2 = c^2$ . Невозможно вообразить, чтобы ваше сообщение могло вызвать у шимпанзе хотя бы малейший проблеск понимания. На эволюционной шкале мы стоим выше шимпанзе на несколько миллионов лет. Точно так же самое простое и очевидное для более высокоразвитой цивилизации утверждение может остаться совершенно незамеченным человеком.

Теперь допустим, что мы приняли сообщение от внеземной цивилизации, которая по своему развитию лишь незначительно опережает нас, скажем только на несколько сотен тысяч лет. Мы без труда могли бы понять, что это послание разумных существ. Однако *содержание* сообщения могло бы оказаться выше нашего понимания. Вообразите, например, как «интеллектуал»-кроманьонец мог бы реагировать на ваше объяснение теоремы Пифагора. Хотя ему, наверное, потребовались бы годы, чтобы полностью понять смысл соотношения  $a^2 + b^2 = c^2$ , само сообщение со всеми этими треугольниками, цифрами, знаками, правилами, квадратами, прямыми и точками могло бы послужить новым мощным толчком к познанию мира. Пусть вы пытались сообщить ему всего лишь простую теорему планиметрии, ваше объяснение могло открыть новые возможности для использования коры головного мозга кроманьонца. Действительно, судя по объему черепа кроманьонца, ваш «студент», лишь незначительно отстающий по уровню развития от человека, должен был бы обладать соответствующим запасом клеток мозга.

Аналогично на первый взгляд невразумительное сообщение внеземной цивилизации может содержать самые



примитивные сведения с их точки зрения, а для нас — глубокие откровения из области физики или математики. Пытаясь понять смысл этого сообщения, мы даже можем научиться новому образу мышления, принципиально новому методу познания окружающей действительности, что в свою очередь должно привести к более полному использованию возможностей человеческого разума. И наша цивилизация могла бы оказаться под непрерывным и сильным влиянием этого потока точек и тире, поступающих от невидимой планеты, обращающейся вокруг далекой тусклой звезды.



### **1. Равнина Хриса**

*Вид со спускаемого аппарата «Викинг-1» в направлении на юго-восток. (НАСА, Лаборатория реактивного движения.)*



## **2. Равнина Утопия**

*Вид со спускаемого аппарата «Викинг-2» в направлении на северо-восток. (НАСА, Лаборатория реактивного движения.)*



### **3. Лето на Равнине Утопия**

*На фоне пейзажа, расположенного к югу от спускаемого аппарата «Викинг», видна часть самого аппарата.  
(НАСА, Лаборатория реактивного движения.)*



#### **4. Зима на Равнине Утопия**

*На снимке, полученном спускаемым аппаратом «Викинг-2» поздней зимой, видны пятна инея. (НАСА, Лаборатория реактивного движения.)*



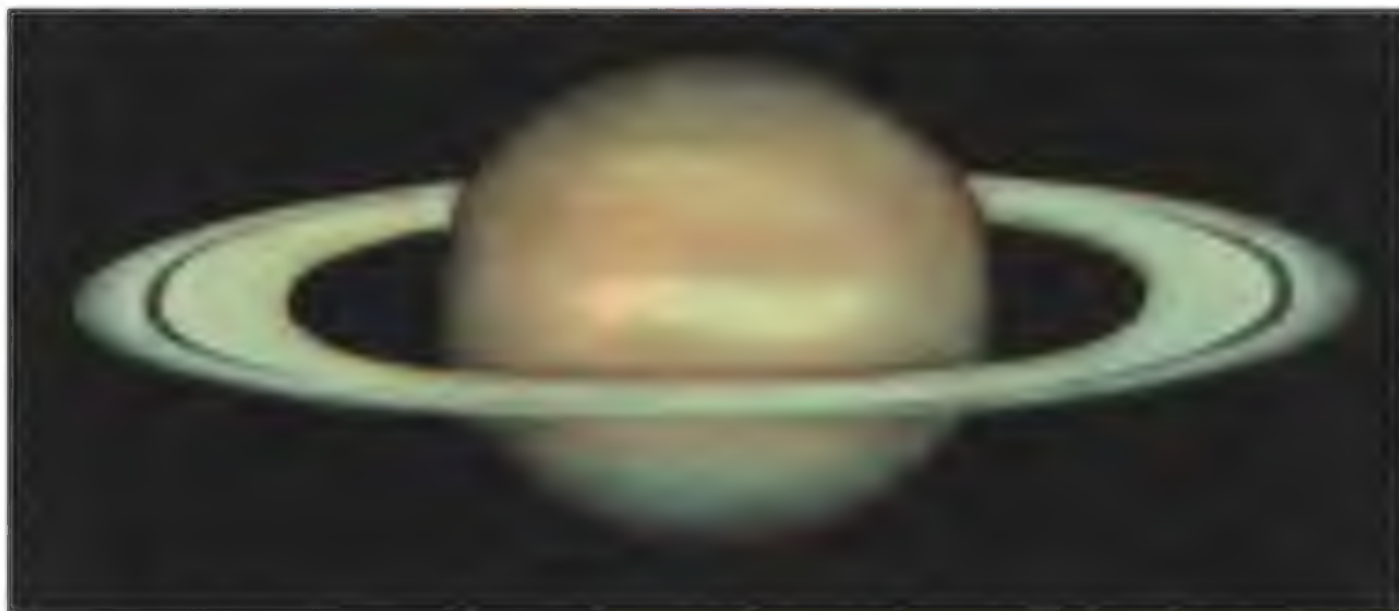


**5. Юпитер, наблюдаемый «Пионером-10»**

*Фотография получена с расстояния 2,5 млн. км от планеты. Ясно видны Большое Красное Пятно и тень Ио. (НАСА.)*

**6. Северный полюс Юпитера, наблюдаемый «Пионером-11»**

*Фотография получена с расстояния 1,3 млн. км от планеты. Заметно, что в полярных областях полосы и зоны разбиваются на случайные вихри. (НАСА.)*



### **7. Большое Красное Пятно**

*На Большом Красном Пятне могли бы поместиться рядом три земных шара. Эта хорошо знакомая деталь в действительности представляет собой гигантский вихрь, в области которого давление весьма высоко. Этот вихрь существует, по крайней мере, три столетия. (НАСА.)*

### **8. Сатурн**

*На этой фотографии, полученной с Земли, видны слабые намеки на полосы и зоны. В строении колец четко заметно деление Кассини. (НАСА.)*

---

# ЛИТЕРАТУРА

## Солнечная система

The Cambridge Encyclopedia of Astronomy, Mitton S., ed., Crown, New York, 1977.

Kaufmann W.J. Exploration of the Solar System, Macmillan, New York, 1977.

Солнечная система. Пер. с англ. под ред. Мороза В. И.— М.: Мир, 1978.

## Меркурий

Hartmann W.K. The Significance of the Planet Mercury, Sky and Telescope, 1976, vol. 51, N 5, p. 307–310.

Мюррей Б. Меркурий. В кн.: Солнечная система. Пер. с англ. под ред. Мороза В. И.— М.: Мир, 1978, с. 59–74.

## Венера

Янг А., Янг Л. Венера. В кн.: Солнечная система. Пер. с англ. под ред. Мороза В. И.— М.: Мир, 1978, с. 75–90.

## Земля

Зивер Р. Земля. В кн.: Солнечная система. Пер. с англ. под ред. Мороза В. И.— М.: Мир, 1978, с. 91–104.

McKenzie D.P., Pichter F. Convection Currents in the Earth's Mantle, Scientific American, 1976, vol. 235, N 5, p. 72–89.

Molnar P., Tapponier P. The collision between India and Eurasia, 1977, vol. 236, N 4, p. 30–41.

Siever R. The Steady State of the Earth's Crust, Atmosphere and Oceans, Scientific American, 1974, vol. 230, N 6, p. 72–79.



Toksöz M.N. The Subduction of the Lithosphere, Scientific American, 1975, vol. 233, N 5, p. 88–89.

Wyllie P.J. The Earth's Mantle, Scientific American, 1975, vol. 232, N 3, p. 50–63.

### **Луна**

Вуд Дж. А. Луна. В кн.: Солнечная система. Пер. с англ. под ред. Мороза В. И.—М.: Мир, 1978, с. 105–120.

French B.M. What's New on the Moon-I, Sky and Telescope, 1977, vol. 53, N 3, p. 164–169.

French B.M. What's New on the Moon-II, Sky and Telescope, 1977, vol. 53, N 4, p. 258–261.

Hartmann W.K. The Moon's Early History, Astronomy, 1976, vol. 4, N 9, p. 6–16.

### **Марс**

Arvidson R.E., Binder A.B., Jones K.L. The Surface of Mars, Scientific American, 1978, vol. 238, N 3, p. 76–89.

Carr M.H. Volcanoes on Mars, Scientific American, 1976, vol. 234, N 1, p. 32–43.

Grobstein C. The Atmosphere of Mars, Scientific American, 1977, vol. 237, N 1, p. 34–43.

Поллак Дж. Марс. В кн.: Солнечная система. Пер. с англ. под ред. Мороза В. И.—М.: Мир, 1978, с. 121–140.

Veverka J. Phobos and Deimos, Scientific American, 1977, vol. 236, N 2, p. 30–37.

### **Юпитер**

Вольф Дж. Х., Юпитер. В кн.: Солнечная система. Пер. с англ. под ред. Мороза В. И.—М.: Мир, 1978, с. 141–154.

Cruikshank D.P., Morrison D. The Galilean Sattelites of Jupiter, Scientific American, 1976, vol. 234, N 5, p. 108–116.

Hubbard W.B., Jokipii J.R. New Studies of Jupiter, Sky and Telescope, 1975, vol. 50, N 4, p. 212–216.

Ingersoll A.P. The Meteorology of Jupiter, Scientific American, 1976, vol. 234, N 3, p. 46–56.

### **Внешние планеты**

Elliot J.L., Dunham E., Millis R.L. Discovering the Rings

of Uranus, Sky and Telescope, 1977, vol. 53, N 6, p. 412–416.

Хантен Д. М. Внешние планеты. В кн.: Солнечная система. Пер. с англ. под ред. Мороза В. И.—М.: Мир, 1978, с. 155–166.

Veverka J., Elliot J., Goguen J., Measuring the Sizes of Saturn's Sattelites, Sky and Telescope, 1975, vol. 50, N 6, p. 356–359.

### **Кометы и астероиды**

Chapman C. R. The Nature of Asteroids, Scientific American, 1975, vol. 232, N 1, p. 24–33.

Grossman L. The Most Primitive Objects in the Solar System, Scientific American, 1975, vol. 232, N 2, p. 30–38.

Sekanina Z. Disintegration Phenomena in Comet West, Sky and Telescope, 1976, vol. 51, N 6, p. 386–393.

Хартман У. К. Малые тела Солнечной системы. В кн.: Солнечная система. Пер. с англ. под ред. Мороза В. И.—М.: Мир, 1978, с. 167–186.

Whipple F. L. The Nature of Comets, Scientific American, 1974, vol. 230, N 2, p. 48–57.

## **ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА \***

### **Солнечная система**

Бронштэн В. А. Планеты и их наблюдение.—М.: Наука, 1979.

Гребенников Е. А., Рябов Ю. А. Поиски и открытия планет.—М.: Наука, 1975.

Жарков В. Н. Внутреннее строение Земли и планет.—М.: Наука, 1978.

Ксанфомалити Л. В. Планеты, открытые заново.—М.: Наука, 1978.

Ксанфомалити Л. В. Новые исследования планет и спутников.—В кн.: Астрономический календарь. 1981.—М.: Наука, 1980, с. 175–195.

---

\* Авторский список литературы дополнен редактором русского перевода.—Ред.

## **Меркурий**

Ксанфомалити Л. В. Меркурий – брат Луны. – Земля и Вселенная, № 1, 1976.

## **Венера**

Кондратьев К. Я., Крупенио Н. Н. Новое о планете Венеры. – М.: Знание, 1979.

Космические исследования, том XVII, вып. 5, 1979. – Тематический выпуск, посвященный результатам полетов АМС «Венера-11» и «Венера-12».

Маров М. Я. Венера: открытия и проблемы. – Земля и Вселенная, № 4, 1980.

Первые панорамы поверхности Венеры. – М.: Наука, 1979.

## **Земля**

Куликов К. А., Сидоренков Е. С. Планета Земля. – М.: Наука, 1977.

## **Луна**

Вдовыкин Г. П. Экзобиология Луны. – М.: Наука, 1975.

Рускол Е. Л. Происхождение Луны. – М.: Наука, 1975.

Шевченко В. В. Современная селенография. – М.: Наука, 1980.

## **Марс**

Бронштэн В. А. Планета Марс. – М.: Наука, 1977.

Мороз В. И. Физика планеты Марс. – М.: Наука, 1978.

Поверхность Марса. – М.: Наука, 1980.

## **Юпитер**

Тейфель В. Г. Юпитер и Сатурн – гиганты Солнечной системы. – М.: Знание, 1976.

## **Кометы и астероиды**

Демин В. Г., Журавлев С. Г. Астероиды: происхождение, статистика и эволюция. – М.: ВИНТИ, 1979.

Симоненко А. Н. Пояс астероидов. – М.: Знание, 1977.

Симоненко А. Н. Метеориты – осколки астероидов. – М.: Наука, 1979.

# ПРИЛОЖЕНИЕ

## некоторые данные

## по планетам и спутникам

Таблица I

| Планета  | Среднее расстояние<br>от Солнца |         | Период обращения |       | Средняя<br>скорость на<br>орбите |
|----------|---------------------------------|---------|------------------|-------|----------------------------------|
|          | а. е                            | млн. км | годы             | сутки | км/с                             |
| Меркурий | 0,39                            | 58      | 0,24             | 88    | 47,9                             |
| Венера   | 0,72                            | 108     | 0,62             | 225   | 35,0                             |
| Земля    | 1,00                            | 150     | 1,00             | 365   | 29,8                             |
| Марс     | 1,52                            | 228     | 1,88             | 687   | 24,1                             |
| Юпитер   | 5,20                            | 778     | 11,9             |       | 13,1                             |
| Сатурн   | 9,54                            | 1427    | 29,5             |       | 9,6                              |
| Уран     | 19,19                           | 2869    | 84,0             |       | 6,8                              |
| Нептун   | 30,06                           | 4498    | 164,8            |       | 5,4                              |
| Плутон   | 39,53                           | 5900    | 248,4            |       | 4,7                              |

Таблица II

| Планета  | Диаметр |                           | Масса | Плотность<br>г/см <sup>3</sup> | Ускорение<br>силы тяжести на по-<br>верхности<br>(относитель-<br>но земного) |
|----------|---------|---------------------------|-------|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
|          | км      | (относительно<br>земного) |       |                                |                                                                              |
| Меркурий | 4900    | 0,38                      | 0,05  | 5,4                            | 0,38                                                                         |
| Венера   | 12100   | 0,95                      | 0,81  | 5,1                            | 0,91                                                                         |
| Земля    | 12800   | 1,00                      | 1,00  | 5,5                            | 1,00                                                                         |
| Марс     | 6800    | 0,53                      | 0,11  | 3,9                            | 0,38                                                                         |
| Юпитер   | 142700  | 11,19                     | 317,8 | 1,3                            | 2,64                                                                         |
| Сатурн   | 120800  | 9,47                      | 95,2  | 0,7                            | 1,13                                                                         |
| Уран     | 47600   | 3,73                      | 14,5  | 1,6                            | 1,07                                                                         |
| Нептун   | 44400   | 3,49                      | 17,2  | 2,2                            | 1,41                                                                         |
| Плутон   | 3000    | 0,14                      | 0,02  | 1,0                            | ?                                                                            |

# ПЛАНЕТЫ И ЛУНЫ

Таблица III

| Спутник                  | Диаметр,<br>км | Расстояние<br>от центра<br>планеты, км | Период об-<br>ращения,<br>сутки | Год<br>открытия |
|--------------------------|----------------|----------------------------------------|---------------------------------|-----------------|
| <b>Спутник Земли</b>     |                |                                        |                                 |                 |
| Луна                     | 3476           | 384 400                                | 27,3                            | —               |
| <b>Спутники Марса</b>    |                |                                        |                                 |                 |
| Фобос                    | 25             | 9 300                                  | 0,3                             | 1877            |
| Деймос                   | 13             | 23 500                                 | 1,7                             | 1877            |
| <b>Спутники Юпитера*</b> |                |                                        |                                 |                 |
| Амальтея                 | 150            | 181 000                                | 0,5                             | 1892            |
| Ио                       | 3640           | 442 000                                | 1,8                             | 1610            |
| Европа                   | 3050           | 671 000                                | 3,6                             | 1610            |
| Ганимед                  | 5270           | 1 071 000                              | 7,2                             | 1610            |
| Каллисто                 | 4900           | 1 884 000                              | 16,7                            | 1610            |
| Леда                     | очень мал      | 11 090 000                             | 239                             | 1974            |
| Гималея                  | ” ”            | 11 500 000                             | 251                             | 1904            |
| Элара                    | ” ”            | 11 750 000                             | 260                             | 1905            |
| Карме                    | ” ”            | 11 800 000                             | 264                             | 1938            |
| Ананке                   | ” ”            | 21 000 000                             | 625                             | 1951            |
| Лисицея                  | ” ”            | 23 000 000                             | 714                             | 1938            |
| Пасифе                   | ” ”            | 23 500 000                             | 735                             | 1908            |
| Синопе                   | ” ”            | 23 700 000                             | 758                             | 1914            |
| <b>Спутники Сатурна</b>  |                |                                        |                                 |                 |
| Янус                     | 200            | 168 700                                | 0,8                             | 1966            |
| Мимас                    | 400            | 185 400                                | 0,9                             | 1789            |
| Энцелад                  | 600            | 238 200                                | 1,4                             | 1789            |
| Тефия                    | 1000           | 294 800                                | 1,9                             | 1684            |
| Диона                    | 800            | 377 700                                | 2,7                             | 1684            |
| Рея                      | 1500           | 527 500                                | 4,5                             | 1672            |
| Титан                    | 5800           | 1 223 000                              | 15,9                            | 1655            |
| Гиперион                 | 500            | 1 484 000                              | 21,3                            | 1848            |
| Япет                     | 1300           | 3 563 000                              | 79,3                            | 1671            |
| Феба                     | 300            | 12 950 000                             | 550,4                           | 1898            |

\* Данные для недавно открытых спутников не приведены

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### *Продолжение табл. III*

| Спутник                 | Диаметр,<br>км | Расстояние<br>от центра<br>планеты, км | Период об-<br>ращения,<br>сутки | Год<br>открытия |
|-------------------------|----------------|----------------------------------------|---------------------------------|-----------------|
| <b>Спутники Урана</b>   |                |                                        |                                 |                 |
| Миранда                 | 600            | 130 000                                | 1,4                             | 1948            |
| Ариэль                  | 1500           | 191 800                                | 2,5                             | 1851            |
| Умбриэль                | 1000           | 267 300                                | 4,1                             | 1851            |
| Титания                 | 1800           | 438 700                                | 8,7                             | 1787            |
| Оберон                  | 1600           | 586 600                                | 13,5                            | 1787            |
| <b>Спутники Нептуна</b> |                |                                        |                                 |                 |
| Тритон                  | 6000           | 353 600                                | 5,9                             | 1864            |
| Нереида                 | 500            | 5 600 000                              | 359,4                           | 1949            |
| <b>Спутник Плутона</b>  |                |                                        |                                 |                 |
| Харон                   | 800            | 19 000                                 | 6,3                             | 1978            |

---

# ПОСЛЕСЛОВИЕ РЕДАКТОРА ПЕРЕВОДА

По-видимому, уже не так далек тот день, когда мощные телескопы, вынесенные за пределы земной атмосферы, смогут обнаружить планеты у ближайших к нам звезд. Нет нужды говорить о громаднейшем научном и мировоззренческом значении подобного события, если оно действительно станет реальным. Вполне очевидно также, что первые сведения не будут слишком богаты информацией. Чтобы правильно понять и оценить полученные данные, мы вынуждены будем обратиться к единственному известному нам пока примеру – Солнечной системе.

Интерес к исследованию планет и спутников Солнечной системы не ослабевал никогда. Но в последние десятилетия стремление узнать возможно больше о природе этих тел возросло особенно сильно, и не только среди астрономов. Проблемами планетной астрономии стали заниматься специалисты многих отраслей науки и техники. Новейшие достижения в исследовании объектов Солнечной системы вызывают также огромный интерес широкой общественности. Прежде всего это объясняется значительным прогрессом в создании космической техники, предназначенной для полетов к другим небесным телам.

В предлагаемой вниманию читателя книге американского астронома Уильяма Дж. Кауфмана широко использованы результаты новейших исследований планет Солнечной системы и их спутников с помощью космической техники. Следует отметить, что в своей работе автор главным образом опирался на данные, полученные

американскими учеными. Некоторые сведения об аналогичных исследованиях, проведенных в нашей стране, даны в примечаниях редактора русского перевода. Более подробно с этими результатами читатель может ознакомиться по соответствующим отечественным изданиям, указанным в разделе «Литература».

Книга У. Кауфмана вышла в США сравнительно недавно — в 1979 г. Тем не менее за прошедшее время в планетных исследованиях произошли важные события, без упоминания которых современный обзор природы тел Солнечной системы был бы неполным.

В декабре 1978 г. окрестностей Венеры достигли два советских аппарата серии «Венера» и два американских — «Пионер — Венера». С помощью такого усиленного «десанта» были выполнены исследования атмосферы и поверхности планеты с борта орбитальных отсеков и спускаемых аппаратов. Для американской космической техники это был первый опыт спуска в атмосфере Венеры. Спускаемые аппараты советских станций «Венера-11» и «Венера-12», как и их предшественники из этой серии, успешно совершили мягкую посадку на поверхность планеты.

Полеты этих космических аппаратов позволили получить новые данные о природе поверхности Венеры. Так, измерения спектрального состава естественного гамма-излучения грунта в местах посадки трех предыдущих аппаратов серии «Венера» показали, что по своему химическому составу породы здесь весьма близки к базальтам. Не исключено, что в отдельных местах могут встречаться породы типа земных гранитов. В свое время были получены и внимательно проанализированы панорамы ландшафтов Венеры в местах посадки станций «Венера-9» и «Венера-10»; при полетах 1978 г. особый интерес представляла обзорная съемка поверхности планеты.

Глобальная фото- или телесъемка поверхности планеты с орбитальных высот невозможна из-за плотных облаков, постоянно и повсеместно присутствующих в атмосфере Венеры. Однако для радиоволн атмосфера и облака прозрачны, поэтому еще по наземным наблюдениям методом радиолокации были получены изображе-



ния отдельных участков поверхности Венеры. Радиолокатор, установленный на борту орбитального отсека аппарата «Пионер–Венера», позволил получить изображения рельефа значительной части поверхности планеты. Оказалось, что около 70% исследованной территории занимают возвышенные покрытые кратерами области типа лунных материков. Число кратеров на единицу площади примерно соответствует плотности кратеров на материках Марса и Луны.

Специальные приборы, установленные на спускаемых аппаратах «Венера-11» и «Венера-12», провели регистрацию грозовой активности атмосферы планеты и обнаружили многочисленные электрические разряды.

Оказалось, что при такой же энергии в разряде, как и на Земле, молнии в облаках Венеры вспыхивают в сотни раз более часто, чем на нашей планете. На Венере электрические разряды в области грозовой активности возникают между отдельными частями облачного слоя. Полагают, что для образования молнии между облаками и поверхностью планеты потребовались бы слишком высокие разности потенциалов.

Во время спуска аппарата станции «Венера-11» ближайшие грозовые фронты, отмеченные приборами, находились на расстоянии около 700 км. Согласно оценкам, протяженность отдельных грозовых центров составляла сотни километров. Количество вспышек молний в каждом из них достигало нескольких десятков в секунду. Как показали измерения, высота разрядов над твердой поверхностью планеты доходила примерно до 70 км.

Интересно отметить, что признаки грозовой активности в атмосфере Венеры наблюдались и ранее, в том числе и с Земли. Однако наблюдатели, как правило, не связывали свечение и вспышки на темной ночной стороне Венеры с грозовыми электрическими разрядами. Тем не менее, как свидетельствуют расчеты, усиление грозовой активности в несколько раз по сравнению с зарегистрированной приборами станции «Венера-11» могло бы вызвать свечение ночной стороны Венеры, достаточное для регистрации наблюдателями на Земле.

Как показали описанные исследования, электрические разряды в атмосфере присущи не только нашей пла-

нете. Не прошло и трех месяцев после открытия гроз на Венере, как поступило сообщение о многочисленных вспышках на ночной стороне Юпитера, наблюдавшихся с борта космического аппарата «Вояджер-1». Полагают, что подобные вспышки представляют собой юпитерианские молнии тысячекилометровой протяженности. Вероятно, грозовые явления типичны для планет с достаточно плотными атмосферами и могут существовать также на других планетах-гигантах Солнечной системы.

Два космических аппарата «Вояджер», запущенные в США, приблизились к Юпитеру в 1979 г. после продолжительного путешествия, длившегося 38 месяцев. С борта аппаратов были получены многочисленные изображения Юпитера и некоторых его спутников.

Анализ снимков подтвердил высказанное ранее предположение, что Большое Красное Пятно представляет собой долгоживущий вихрь в атмосфере Юпитера. Период вращения этого гигантского образования составляет около 6 суток. На подробных фотографиях было обнаружено множество деталей, показывающих особенности динамики верхнего наблюдаемого слоя облаков планеты.

Исключительно интересными оказались виды поверхности четырех самых крупных (галилеевых) спутников Юпитера. На Ио была обнаружена активная вулканическая деятельность. Непосредственно наблюдалось извержение восьми действующих вулканов, газовые выбросы которых поднимались на сотни километров. Поверхность Ио имеет пятнистую структуру при общей ярко-оранжевой окраске, которую, вероятно, можно объяснить отложениями серы и сконденсированного сернистого газа. Средняя плотность Ио близка к плотности Луны. Можно предположить, что этот спутник, подобно Луне, имеет силикатную кору.

Существенно иной представляется природа трех других галилеевых спутников. Полагают, что Европа обладает 100-километровой ледяной корой. Основными формами рельефа на поверхности Европы являются трещины, возникшие, по-видимому, в результате глубинных тектонических процессов. Спутник лишен заметной атмосферы. Цвет поверхности имеет коричневатую-оранжевый оттенок и менее интенсивен, чем цвет поверхности Ио.

Поверхность Ганимеда неоднородна. При общей темно-коричневой окраске можно выделить более светлые и темные области. На снимках, полученных с большим разрешением, видны необычные извилистые полосы, простирающиеся параллельными рядами на значительное расстояние. Достаточно много кратеров—следов метеоритных ударов. Многие из этих образований очень похожи внешним видом на светлые лучевые кратеры Луны. Средняя плотность Ганимеда лишь в два раза больше плотности воды, что указывает на существование у этого спутника мощной ледяной коры.

Число кратеров на единице площади поверхности Ганимеда несколько меньше, чем у Луны. По аналогии с возрастом кратерированной поверхности Луны можно оценить абсолютный возраст различных областей поверхности Ганимеда. Подсчеты числа ударных кратеров позволяют предположить, что возраст наблюдаемой поверхности Ганимеда составляет 3–3,5 млрд. лет.

Внутреннее строение и характер поверхности Каллисто аналогичны. Наиболее интересным образованием на этом спутнике является гигантская многокольцевая структура, достигающая в диаметре около 2600 км.

Подобно Луне, галилеевы спутники Юпитера постоянно обращены к планете одним и тем же полушарием. Это означает, что каждый из них обращается вокруг Юпитера с периодом, равным периоду их вращения вокруг своей оси.

В сентябре 1979 г. американский космический аппарат «Пионер-11» прошел вблизи Сатурна. В момент наибольшего сближения расстояние до верхней границы облаков составило около 21 тыс. км.

Исследования показали, что напряженность магнитного поля планеты на уровне видимых облаков вблизи экватора в 1,75 раза меньше, чем на поверхности Земли. Уникальной особенностью оказалось точное совпадение (до долей градуса) оси магнитного поля Сатурна с осью вращения. Как известно, у Земли, Меркурия и Юпитера эти две оси расходятся на 10–12°.

С помощью аппарата «Пионер-11» были получены также новые сведения о кольцах Сатурна. Кроме известных ранее, были открыты два новых кольца (*F* и *G*).

Через предполагаемое кольцо *E* аппарат прошел, когда пересекал вблизи планеты экваториальную плоскость Сатурна.

Дальнейшие более подробные наблюдения колец были проведены в процессе пролета вблизи Сатурна космического аппарата «Вояджер-1» в 1980 г. Уже с расстояния около 8 млн. км в структуре колец было выделено 95 отдельных концентрических образований. Полагают, что сложные структурные особенности колец можно объяснить гравитационным взаимодействием между крупными спутниками и отдельными частицами, обращающимися вокруг Сатурна в плоскости колец. Ярким примером того может служить обнаруженный по снимкам «Вояджера-1» четырнадцатый спутник Сатурна. Этот спутник движется внутри узкого кольца *F*, ширина которого составляет всего лишь 150 км. На снимках кольца, сделанных со стороны неосвещенного полушария Сатурна, выделяются два отдельных узких «жгута», которые как бы переплетаются между собой. По-видимому, причиной образования подобной сложной структуры кольца *F* явилось гравитационное воздействие четырнадцатого спутника Сатурна.

Другой неожиданной особенностью колец оказались темные радиальные образования, которые участвуют в общем вращательном движении колец как твердотельные детали – подобно спицам обычного механического колеса.

Это явление пока не получило удовлетворительного объяснения. Поскольку внешние области колец вращаются медленнее внутренних, любое радиальное образование, возникшее в кольце, должно искривляться вследствие различия в скорости движения отдельных частиц в кольце, расположенных на разных расстояниях от планеты. В данном случае, как показывают серии снимков, сделанных с интервалом 15 минут, никакого искажения радиальных «спиц» не происходит. Природа этого явления пока не ясна. Не исключено, что оно обусловлено чисто оптическими эффектами.

Снимки самого большого спутника Сатурна – Титана – были получены с различных расстояний. Титан окружен сравнительно плотной атмосферой. Отдельные образования в атмосфере Титана оказались в основном аэрозоль-

ными, в отличие от конвективных облаков в атмосферах Юпитера и Сатурна. Обнаружено несколько аэрозольных слоев: на высотах 200, 375 и 500 км над поверхностью спутника.

Вид поверхности других крупных спутников Сатурна весьма напоминает ландшафты Луны или Меркурия. Несмотря на иную природу поверхностных слоев, по-видимому, состоящих из льда, внешние формы кратеров такие же, как на силикатной поверхности естественного спутника нашей планеты.

Поверхности Реи и Дионы отличаются высокой плотностью кратеров на единице площади. Наиболее крупные из них достигают 75–100 км в диаметре. Ряд кратеров имеет центральные горки. Вероятно, наиболее свежие кратеры являются центрами светлых лучей–выбросов, вызванных ударами метеоритов. Если учесть наличие у этих спутников мощной ледяной коры, то ударная природа наблюдаемых кратеров почти не вызывает сомнений. Протяженные извилистые долины, запечатленные на снимках Реи и Дионы, возможно, образованы разломами в ледяной коре при ударах падавших на поверхность этих спутников метеоритных тел.

Гигантское образование подобного ударного происхождения обнаружено на поверхности Тефии. Полушарие спутника, постоянно обращенное к Сатурну, пересекает огромная долина протяженностью около 750 км и шириной 60 км. Диаметр самого спутника составляет около 1000 км (менее трети диаметра Луны).

Наиболее крупный кратер отмечен на поверхности самого небольшого из исследованных спутников Сатурна–Мимаса. Диаметр этого кратера достигает 130 км, что составляет более четверти диаметра Мимаса. Это исключительно интересное образование обладает приподнятым над окружающей поверхностью валом и центральной горкой–характерными признаками крупной структуры ударного происхождения, типичной для планет земного типа и их спутников. Если говорить об отношении размеров этого кратера к размерам самого Мимаса, то, по-видимому, его следует причислить к самым гигантским кратерам во всей Солнечной системе.

Поверхность Мимаса в отдельных районах пересе-

кают протяженные впадины шириной несколько километров. Судя по низкой средней плотности Мимаса, спутник в основном состоит из льда.

Новые сведения о системе Сатурна ученые надеются получить после пролета космического аппарата «Вояджер-2» вблизи Сатурна в августе 1981 г. После того как аппарат минует окрестности Сатурна, дальнейший его путь будет пролегать к Урану, сближения с которым можно ожидать в 1986 г.

Весь предыдущий опыт исследования тел Солнечной системы убеждает нас в том, что планеты и спутники, как ближайшие к Земле, так и находящиеся на расстоянии многих миллионов километров от нее, еще не раз продемонстрируют землянам удивительные сюрпризы природы.

22 апреля 1981 г.

*В. Шевченко*

---

# ПРЕДМЕТНО-ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Адамс Джон Кауч 164  
Альфонс, кратер 94  
Амальтея 150  
Анортозитовая порода 99, 100  
«Аполлон», программа 99  
    «Аполлон-8» 88  
    «Аполлон-12» 97  
    «Аполлон-15» 92  
    «Аполлон-17» 89  
Астеносфера 78  
Астероиды 25, 39, 105, 122,  
    172–178, 182  
    открытия 172–176  
    пояс 176–177, 183  
    размеры 176  
Астероя 173  
Атлантический океан 75, 77
- Бассейн Калорис 35, 39–41  
    образование 41  
Бодэ закон 171–172  
Бодэ Иоганн 171  
Большое Красное Пятно 137,  
    140, 142, 152, 207
- Вегенер Альфред Л. 78, 80  
Везе Карл 145  
Венера 17–19, 36, 44–61, 83,  
    205–206  
    атмосферы давление 54, 55  
    атмосферы состав 55, 63  
    атмосферы электрические раз-  
        ряды 206  
    ветра скорости 57  
    внешний вид при наземных на-  
        блюдениях 44–47, 49  
    вращение 48–49, 55  
    масса 46  
    облачный покров 44, 46–59  
    орбита 18, 44, 45, 48, 172  
    поверхность 57, 60, 205  
    прохождение 48  
    радионаблюдения 47–48, 50,  
        206  
    размер 21, 46  
    сравнение с Землей 46, 57–61  
    температура 50, 53–54  
    ускорение силы тяжести 46  
    фазы 44, 46–47  
«Венера-1» 50  
«Венера-4» 52  
«Венера-5» 52  
«Венера-6» 52  
«Венера-7» 52  
«Венера-8» 52  
«Венера-9» 57, 60, 205  
«Венера-10» 57, 60, 205  
«Венера-11» 205–206  
«Венера-12» 205–206  
Веста 173  
Видманштеттеновы фигуры 178,  
    181  
«Викинг-1» 124, 126, 128, 129  
«Викинг-2» 126, 128, 129  
«Викинги» 124, 126–131  
    биологический эксперимент  
        127–131, 144  
    орбитальный аппарат 122,  
        127, 175  
    спускаемый аппарат 127, 128  
Внеземная жизнь 192–196  
«Вояджер-1» 85, 150, 207, 209  
«Вояджер-2» 150, 162, 170, 211

- Газообмен, эксперимент 130, 131  
 Галактика спиральная 8, 10  
 Галилей Галилео 45–46, 118  
 Галле 164  
 Ганимед 84, 135, 149, 150, 208  
 Геминиды 187  
 Генке Карл 173  
 Гершель Уильям 160, 171  
 Гималаи 79, 82, 92  
 Глобулы 12, 13  
 Гольдштейн Ричард М. 50  
 Гондвана 80  
 Гора Олимп (Olimpus Mons) 114, 117  
 Гора Хэдли 90, 92  
 Гюйгенс Христиан 152, 158
- Дайс Рэльф 31  
 Дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК) 106, 192  
 Деймос 118, 120, 122  
 Диона 158, 210  
 Долина Маринер 114, 118, 119, 124  
 Дрейф континентов 80
- Европа 84, 150, 207
- Зоны (на Юпитере) 134–143  
 Землетрясения 70, 71, 77, 80, 87  
 Земля 17–19, 62–82, 84, 85  
     атмосферы состав 62–63  
     будущее 61  
     внешний вид 62, 64  
     вода 63, 65–67  
     жизнь 63, 82, 106, 145, 193  
     магнитное поле 72–75, 146  
     магнитосфера 72, 73  
     мантия 70, 71  
     недра 70–71  
     орбита 18, 172  
     плотность средняя 67  
     размер 21  
     тектоника плит 75–81, 87  
     ядро 70–71
- Изверженные породы 67, 68  
 Ио 84, 150, 207
- Каллисто 84, 150, 208  
 Камерон А. 133
- Кассини Джованни Доменико 140, 153, 158  
 Кассини щель 153, 160, 176  
 Кейпер Джерард П. 154, 158  
 Кеплер Иоганн 46, 118  
 Кирквуд Даниэль 177  
 Кирквуда пробелы 177  
 Кларк Артур 158  
 Колombo Джузеппе 31, 43  
 Комета 187–191  
     Икейа–Секи 188  
     кома 191  
     Мркоса 190  
     орбиты 189  
     хвост 189–191  
     ядро 187  
 Коперник 46  
 Коперник, лунный кратер 87, 89, 90, 105  
 Красное море 81, 82  
 Кратеры  
     на Луне 86–91, 94–96, 98, 103–105  
     на Марсе 111, 114, 115  
     на Меркурии 33–35, 37–39  
     на Фобосе 120–122  
 Криповые нориты (KREEP) 99–103  
 Кристи Джеймс 168
- Лавразия 80  
 Лагуна, туманность 13  
 Леверье Урбен Жан Жозеф 164  
 Леониды 187  
 Лириды 187  
 Литосфера 78  
 Ловелл Персиваль 110  
 Луна 83–105  
     горы 90, 92, 102  
     кора 99, 100, 104, 105  
     кратеры 87–91, 94–96, 98, 103–104  
     масса 37  
     моря 87, 88, 99  
     недра 104–105  
     образование 99, 102–103  
     породы 99–103  
     размер 83–84, 167  
     ускорение силы тяжести 39  
 «Луна-3» 96  
 «Луна-9» 96



- Магнитопауза** 72–73, 146, 148  
**Магнитослой** 73, 145, 148  
**Мантия**  
     Земли 70, 71  
     Луны 104  
**«Маринер-1»** 50  
**«Маринер-2»** 50  
**«Маринер-4»** 111  
**«Маринер-5»** 52  
**«Маринер-6»** 111  
**«Маринер-7»** 111  
**«Маринер-9»** 114, 116, 120, 121  
**«Маринер-10»** 32–43, 55  
**Марс** 17–19, 106–131  
     атмосферы состав 63, 111, 126  
     внешний вид при наземных на-  
     блюдениях 108–113  
     вода 65, 110, 122, 126  
     вращение 108  
     вулканы 114, 117, 118  
     каналы 110–113  
     каньоны 114, 119, 124  
     кратеры 111, 114, 115  
     лед подповерхностный 126  
     наводнения внезапные 123,  
     126  
     образование 17–19  
     оползни 124, 126  
     орбита 18, 108–109, 172  
     полярные шапки 108, 111, 125  
     противостояния 108–109  
     пылевые бури 111, 114  
     русла рек высохшие 122, 126  
     сезоны 107, 108  
     спутники 118, 120–128, 175  
     температура 111  
**«Марс-2»** 110  
**«Марс-3»** 110, 127  
**«Марс-4»** 110  
**«Марс-5»** 110, 127  
**«Марс-6»** 110  
**«Марс-7»** 110  
**Межзвездная пыль** 12  
**Межзвездное пространство** 8  
**Мезосфера** 65  
**Меркурий** 17–19, 26–43, 83–84  
     Бассейн Калорис 35, 39–41  
     внешний вид при наземных на-  
     блюдениях 28–30  
     волнообразная область 41, 42  
     вращение 28–32  
     железное ядро 37, 39  
     кратеры 33–35, 37–42  
     магнитное поле 36  
     масса 37  
     образование 17–19  
     орбита 18, 27, 28, 172  
     прохождение 29  
     размеры 21, 28, 83, 84, 166  
     сравнение с Луной 28, 36–37,  
     39  
     температура 26, 36  
     ускорение силы тяжести 39  
     уступы 33, 39  
**Метаморфическая порода** 67–69  
**Мимас** 158, 160, 177, 210–211  
**Метеор** 179, 184–186  
**Метеоритная пыль** 91, 184,  
     186–187  
**Метеорные потоки** 184, 187  
**Метеоритный кратер** 182  
**Метеориты** 12, 25, 39, 103, 104,  
     177–178, 180–184  
     железные 178, 180–181, 183  
     железокаменные 178, 180–181  
     каменные 177–178, 180, 183  
**Миллер Стенли** 143  
**Море Дождей (Mare Imbrium)**  
     87, 103  
**Море Облаков (Mare Nubium)** 87  
**Море Спокойствия (Mare Tranqui-  
     illitatis)** 87, 88  
**Морские базальты** 99–101  
**Моря** 87, 88, 99  
     образование 104–105  
**Нептун** 20–21, 83, 164–170  
     внешний вид при наземных  
     наблюдениях 165–166  
     вращение 153  
     масса 153  
     образование 20–21  
     орбита 18, 164–165, 172  
     открытие 164–165  
     размер 21, 153  
     спутники 165–169  
**Нереида** 167–169  
**Океан Бурь (Oceanus Procellarum)**  
     97, 103  
**Ольберс Генрих** 172  
**Октаэдрит** 180–181

- Оорта* облако 191  
 «Орбистер», программа 96, 98  
 «Орбистер-2» 98  
 Ориониды 187  
 Осадочные породы 67–69
- Паллада 173  
 Палласит 180–181  
 Пангея 80  
 Парниковый эффект 50, 52, 61  
 Первичная солнечная туманность 14–16, 102, 132–133, 176  
     вращение 14–15  
 Перри Ф. 133  
 Персеиды 187  
 Петтенджилл Гордон 31  
 Пиаци Джозеппе 172  
 «Пионер-10» 136, 138, 149  
 «Пионер-11» 137, 208  
 Планетезимали 17, 20  
 Планеты  
     образование 7–25  
     орбиты 18  
     размеры 21  
 Плутон 21, 167–170  
     вращение 168  
     орбита 18, 168, 171, 172  
     размеры 21, 168, 169  
 Полосы (на Юпитере) 134–144  
 Полярные сияния 74  
 Поннамперума Сирил 144  
 Протопланеты 17, 20  
 Протосолнце 14–23, 133
- Равнина Утопия 128, 129  
 Равнина Хриса 123, 128  
 Радиационные пояса 73–74, 145  
 Разложение метки, эксперимент 129, 131  
 Разложение пиролизом, эксперимент 130  
 Реголит 105  
 «Рейнджер», программа 93–95  
 Рея 158, 210
- Сатурн 20, 21, 83, 151–160, 208–211  
     атмосфера 152  
     внешний вид при наземных наблюдениях 151–152, 156–157  
     вращение 151, 153  
     колец система 152–160, 163–164, 176, 208–209  
     магнитное поле 208  
     образование 20–21  
     орбита 18, 152, 156, 172  
     размеры 21, 151, 153, 155  
     спутники 156, 158, 160, 209  
 Сейсмические волны 41, 42, 70–71  
 «Сервейер», программа 96, 97  
 «Сервейер-3» 96, 97  
 «Сервейер-5» 96  
 «Сервейер-6» 96  
 «Сервейер-7» 96  
 Сверхновая 12, 183  
     остаток взрыва 11  
 Сириус 26, 44  
 Скиапарелли Джованни 31, 110–111  
 Солнечная система  
     образование 8–25  
     размеры 18  
 Солнечные пятна 24  
 Солнечный ветер 23, 72–73, 145, 148, 189–191  
 Солнце 21–25  
 Стратосфера 65  
 Стюарт Джонс 169
- Тарсис, область 114  
 Тектоника плит 75–82, 87  
 Тефия 158, 210  
 Титан 84, 158, 209  
 Тихо, кратер 90, 105  
 Томбо Клайд 167  
 Тритон 84, 165–169  
 Тропосфера 65  
*Т Тельца* ветер 23–25  
 Туманность Ориона 9
- Углистые хондриты 180, 183, 192  
 Уран 20–21, 160–166  
     внешний вид при наземных наблюдениях 159–161  
     вращение 153  
     колец система 162–164  
     масса 153  
     образование 20  
     орбита 18, 160, 162–163, 172  
     открытие 160, 171

## ПЛАНЕТЫ И ЛУНЫ

---

размеры 21, 153, 163  
сезоны 162–163  
спутники 159  
Уступ 33, 39  
  
Феба 158  
Фландрен ван 168–169  
Фобос 118, 120–122, 175  
  
Харон 168–170  
Харрингтон 168, 169  
Холл Асаф 118  
  
Церера 172–173  
  
Элизий, область 114  
  
Юнона 173  
Юпитер 20–21, 83, 132–150,  
207–208

атмосфера 138–146, 207  
внешний вид при наземных  
наблюдениях 134, 135, 140  
вращение 133–134, 148, 153  
жизнь 131, 144–145  
кольца 164  
магнитное поле 145–150  
магнитосфера 146, 148–150  
масса 133, 153  
недра 146–147  
образование 20, 133  
орбита 18, 132, 172  
размер 21, 133, 153  
сплюснутость 134, 135

Юри Гарольд 143  
*Юри-Миллера* эксперимент 143

Янус 156  
Япет 158

---

# СОДЕРЖАНИЕ

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| ПРЕДИСЛОВИЕ                    | 5   |
| 1. НАЧАЛО                      | 7   |
| 2. ОПАЛЕННЫЙ СОЛНЦЕМ МЕРКУРИЙ  | 26  |
| 3. ПОКРЫТАЯ ОБЛАКАМИ ВЕНЕРА    | 44  |
| 4. НАША ПОЛНАЯ ЖИЗНИ ЗЕМЛЯ     | 62  |
| 5. НАША БЕСПЛОДНАЯ ЛУНА        | 83  |
| 6. НАШЕСТВИЕ МАРСИАН           | 106 |
| 7. ЦАРЬ ПЛАНЕТ                 | 132 |
| 8. ВНЕШНИЕ МИРЫ                | 151 |
| 9. МЕЖПЛАНЕТНЫЕ СКИТАЛЬЦЫ      | 171 |
| ЭПИЛОГ                         | 192 |
| ЛИТЕРАТУРА                     | 197 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ                     | 201 |
| ПОСЛЕСЛОВИЕ РЕДАКТОРА ПЕРЕВОДА | 204 |
| ПРЕДМЕТНО-ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ    | 212 |

Уильям Дж. Кауфман

---

ПЛАНЕТЫ И ЛУНЫ

Научный редактор А. Н. Кондрашова. Мл. научный редактор Л. И. Леонова

Художник И. А. Березовский. Художественный редактор Л. Е. Безрученков

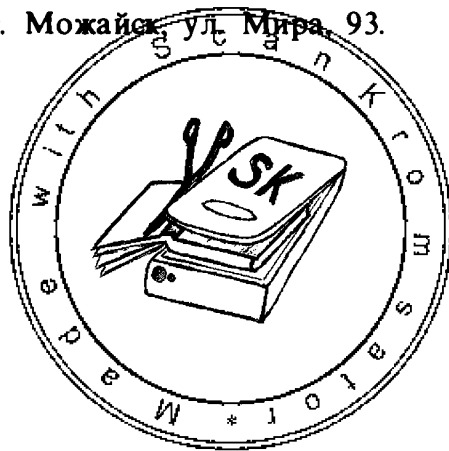
Технический редактор Е. В. Яшук. Корректор Т. И. Стифеева

ИБ 2657

Сдано в набор 15.05.81. Подписано к печати 19.11.81. Формат  $84 \times 108^{1/32}$ . Бумага офсетная № 1. Гарнитура таймс. Печать высокая. Объем 3,50 бум. л. Усл. печ. л. 11,76. Усл. кр.-отт. 70,77. Уч.-изд. л. 11,83. Изд. № 12/1267. Тираж 50000 экз. Зак. № 362. Цена 70 коп.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР» Москва, 1-й Рижский пер., 2

Можайский полиграфкомбинат Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. г. Можайск, ул. Мира, 93.



Уильям Дж. Кауфман является профессором физики университета в Сан-Диего, а также ведет курс астрофизики в университете штата Индиана. У. Кауфман – автор восьми книг по астрономии, космологии и теории относительности. Он является также директором Гриффитской обсерватории в Лос-Анджелесе и научным консультантом по программе полетов космических аппаратов „Викинг“ на Марс. У. Кауфман уделяет большое внимание популяризации научных знаний. Его лекции, посвященные современным проблемам астрономии и космическим исследованиям, вызывают живой интерес широких кругов неспециалистов. Перу У. Кауфмана принадлежит ряд научно-популярных книг: „Звезды и туманности“, „Галактики и квазары“, „Планеты и луны“, „Черные дыры и искривленное пространство-время“.

